



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

1

**Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos:
entierro y cremación en Ecuador**

Guayasamín Vergara, Jonathan David

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas de Gestión
Ambiental

MSc. Crisanto Perrazo, Tania del Pilar

03 de octubre de 2021

10/3/21, 8:25 PM

REVISION DE TESIS INDICES AMBIENTALES EMPIRICOS

Informe de originalidad

NOMBRE DEL CURSO

TESIS GRADO Y POSGRADO

NOMBRE DEL ALUMNO

JONATHAN DAVID GUAYASAMIN VERGARA

NOMBRE DEL ARCHIVO

JONATHAN DAVID GUAYASAMIN VERGARA - REVISION TESIS GUAYASAMIN

SE HA CREADO EL INFORME

3 oct 2021

Resumen

Fragmentos marcados	10	0,9 %
Fragmentos citados o entrecomillados	11	1 %
Coincidencias de la Web		
derechoecuador.com	7	1 %
espe.edu.ec	8	0,8 %
pastaza.gob.ec	1	0,1 %
usantotomas.edu.co	1	0,1 %
salud.gob.ec	1	0,1 %
cip.org.ec	1	0,1 %
vlex.ec	1	0 %
emuce.gob.ec	1	0 %

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**TANIA DEL PILAR
 CRISANTO
 PERRAZO**

Msc. Tania del Pilar Crisanto Perrazo

Directora

C. C: 1712679842



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos: entierro y cremación en Ecuador”** fue realizado por el señor **Guayasamín Vergara, Jonathan David** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 03 de octubre del 2021

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**TANIA DEL PILAR
CRISANTO
PERRAZO**

.....
Msc. Tania del Pilar Crisanto Perrazo

Directora

C. C: 1712679842



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Guayasamín Vergara, Jonathan David**, con cédula de ciudadanía n° 1723418164 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos: entierro y cremación en Ecuador** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 03 de octubre del 2021

Firma

Jonathan David Guayasamín Vergara

C. C: 1723418164



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Guayasamín Vergara, Jonathan David**, con cédula de ciudadanía n° 1723418164 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos: entierro y cremación en Ecuador** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 03 de octubre del 2021

Firma

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser 'Jonathan David Guayasamín Vergara', sobre una línea de puntos.

Jonathan David Guayasamín Vergara

C. C: 1723418164

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a toda esa gente que se levanta y lucha por un mundo mejor, a todas esas personas que se encuentran investigando para encontrar soluciones a los problemas de la sociedad y a quienes lo dan todo para edificar un mejor lugar para vivir, a todos aquellos que con cada pequeña acción son las voces de los que no pueden hablar y la defensa de los que no pueden luchar, haciendo marchas y poniéndose de pie para concientizar y frenar la contaminación ambiental, a todos ustedes muchas gracias y nunca dejen de soñar.

...Jona

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres por ser los pilares de mi edificación como persona y a quienes les debo todo lo que soy y lo que podré llegar hacer.

A mi hermana Jennifer por ayudarme cada vez que lo necesite sin pedirme nada a cambio y a la que le debo gran parte del levantamiento de la información

A la Dirección de Administración de los Recursos Hídricos de la Ex Secretaría del Agua por su colaboración con el Mapa Hidrogeológico del Ecuador Escala 1:25.000.

A mis amigos, Dennis, Joao y Ricardo por haberme apoyado en el levantamiento de los datos en campo y traslado a los cementerios

A mis compañeros de trabajo Marco y Dianita por apoyarme enormemente para el desarrollo de la parte experimental.

Y un especial reconocimiento a todo el grupo de investigación conformado por Eduardo Mayorga, Diego Vizuite, Izar Sinde y sobre todo a mi tutora Tania Crisanto por apoyarme desde el inicio y a quién le debo el desarrollo de la presente investigación

A todos ustedes muchas gracias

...Jona

Tabla de Contenidos

Resumen	17
Abstract	18
Capítulo I	19
Introducción	19
Antecedentes	19
Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	27
Cementerios del Cantón Quito	27
Cementerios del Cantón Mejía	27
Cementerios del Cantón Rumiñahui	28
Planteamiento del problema	29
Justificación e importancia	33
Proyectos relacionados.....	34
Objetivos generales y específicos	35
Objetivo general.....	35
Objetivos específicos	36
Pregunta de investigación.....	36
Hipótesis de investigación	36
Capítulo II	37
Marco Teórico	37

Concepto de la muerte en la sociedad	37
Concepto psicológico de la muerte en la actualidad	37
Impactos ambientales asociados a la disposición de cadáveres contexto global	39
Métodos convencionales de disposición de cadáveres	42
Entierro convencional en cementerios	42
Proceso de descomposición cadavérica	44
Implicaciones ambientales del entierro: suelo y agua.....	45
Contaminación del suelo	45
Contaminación de agua subterránea.....	47
Controversias religiosas y sociales	49
Cremación	50
Proceso de la cremación	50
Impactos ambientales asociados	52
Contaminación a la calidad de aire	54
Controversias religiosas y sociales	56
Alternativas a los métodos convencionales de disposición de cadáveres.....	57
Entierro natural.....	57
Proceso.....	57
Impacto ambiental y sustentabilidad.....	58
Hidrólisis alcalina	59

	10
Proceso.....	59
Impacto ambiental y sustentabilidad.....	61
Controversias religiosas y sociales.....	61
Criogenización.....	62
Proceso.....	63
Impactos ambientales asociados.....	63
Controversias religiosas y sociales.....	64
Normativa legal nacional para la ubicación de cementerios y crematorios.....	64
Normativa legal internacional para la ubicación de cementerios y crematorios.....	67
Capítulo III	69
Metodología	69
Evaluación de las características ambientales y geográficas de la zona de estudio..	69
Diagnóstico de estado y tiempo de funcionamiento.....	72
Nivel freático.....	72
Determinación del número de tumbas y año de operación.....	72
Falla Geológica.....	76
Determinación de la muestra de cementerios y crematorios de la zona de estudio	79
Determinación del tamaño de muestra para cementerios.....	79
Proceso analítico jerárquico.....	80
Matriz pareada de juicios.....	80

	11
Matriz de prioridades.....	81
Cálculo de consistencia	83
Determinación del tamaño de muestra para crematorios	85
Georreferenciación de la zona de estudio	86
Determinación de los cementerios críticos	88
Determinación de las condiciones ambientales de cementerios y crematorios de la zona de estudio y valoración de parámetros físico químicos	90
Determinación de Índices de Gestión Ambiental y propuesta técnica.....	94
Índices de Gestión Ambiental	94
Propuesta técnica para la ubicación de sitios destinados en la disposición de cadáveres humanos	96
Capítulo IV	97
Resultados y Discusión de Resultados	97
Análisis de los 15 cementerios seleccionados	97
Cementerio de Nanegal	97
Cementerio de Pintag	99
Cementerio de Alangasi	100
Cementerio de Aloag	101
Cementerio de Machachi.....	102
Cementerio Monteolivo Sur Campo Santo	103

	12
Campo Santo Jardines Santa Rosa	105
Cementerio Parroquial de Cutuglagua.....	106
Campo Santo Metropolitano	107
Cementerio de la Libertad	108
Cementerio de Chillogallo.....	109
Cementerio de Monte Olivo Norte	110
Cementerio del Tejar	111
Cementerio de San Diego	112
Cementerio de la Magdalena.....	113
Cementerios Críticos Determinados	115
Análisis físico químicos de cementerios críticos.....	117
Análisis de Potencial de Hidrógeno	117
Análisis de la conductividad	119
Análisis del Oxígeno Disuelto (OD).....	122
Análisis de la DBO ₅ y la DQO	125
Análisis de los 4 crematorios evaluados	128
Establecimiento de Índices Empíricos Ambientales	131
Propuesta técnica para la ubicación de sitios destinados para la disposición de cadáveres humanos	137
Capítulo V	141

	13
Conclusiones y Recomendaciones.....	141
5.1 Conclusiones	128
5.2 Recomendaciones.....	128
Capítulo VI.....	144
6. Bibliografía.....	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Artículos relacionados con la gestión de cementerios en el Ecuador</i>	66
Tabla 2. <i>Normativa internacional para nivel freático y distancia a fuentes de agua</i>	68
Tabla 3. <i>Criterios de selección para las características ambientales y geográficas</i>	70
Tabla 4. <i>Año de operación y número de tumbas de cementerios en Quito</i>	73
Tabla 5. <i>Año de operación y número de tumbas de cementerios en Rumiñahui</i>	75
Tabla 6. <i>Año de operación y número de tumbas de cementerios en Mejía</i>	76
Tabla 7. <i>Variables, criterios y estandarización</i>	77
Tabla 8. <i>Escala fundamental de números absolutos</i>	80
Tabla 9. <i>Matriz pareada de comparaciones</i>	81
Tabla 10. <i>Matriz de prioridades W</i>	82
Tabla 11. <i>Matriz de suma de columna B</i>	83
Tabla 12. <i>Índice de consistencia aleatoria</i>	85
Tabla 13. <i>Crematorios de la Zona de Estudio</i>	86
Tabla 14. <i>Cementerios pre seleccionados</i>	88
Tabla 15. <i>Variables consideradas para la determinación de índices empíricos</i>	95
Tabla 16. <i>Nivel freático y distancia a fuentes de agua para los Cementerios pre selec</i>	113
Tabla 17. <i>Cementerios críticos determinados</i>	116
Tabla 18. <i>Análisis de pH en agua de los Cementerios críticos determinados</i>	117
Tabla 19. <i>Análisis de la conductividad en agua de los Cementerios críticos</i>	120
Tabla 20. <i>Análisis del oxígeno disuelto en agua de los cementerios críticos</i>	122
Tabla 21. <i>Análisis de la DBO₅ y la DQO en agua de los Cementerios críticos</i>	125
Tabla 22. <i>Análisis del Material Particulado Sedimentable de Crematorios</i>	128
Tabla 23. <i>Índices empíricos ambientales para las variables de estudio</i>	131
Tabla 24. <i>Validación de índices en 3 cementerios de estudio con 10 variables</i>	133
Tabla 25. <i>Validación de índices en 3 cementerios de estudio con 8 variables</i>	135
Tabla 26. <i>Validación de índices en 3 cementerios de estudio con 6 variables</i>	135
Tabla 27. <i>Alternativas técnicas para la ubicación de restos humanos</i>	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Área de influencia del proyecto</i>	28
Figura 2. <i>Entierro convencional.</i>	43
Figura 3. <i>Recursos requeridos en el entierro convencional</i>	47
Figura 4. <i>Representación de un horno de cremación</i>	51
Figura 5. <i>Proceso de cremación</i>	54
Figura 6. <i>Entierro Natural</i>	58
Figura 7. <i>Hidrólisis Alcalina</i>	60
Figura 8. <i>Proceso de criogenización de cadáveres</i>	62
Figura 9. <i>Cálculo de matriz de prioridades</i>	82
Figura 10. <i>Cementerios y crematorios determinados</i>	87
Figura 11. <i>Determinación del nivel freático mediante el método Schlumberger</i>	89
Figura 12. <i>Multiparamétrico Hach y sonda de LDO</i>	91
Figura 13. <i>Multiparamétrico Hach y sonda de Conductividad</i>	91
Figura 14. <i>Multiparamétrico Hach y sonda de pH</i>	92
Figura 15. <i>Instalación de recipientes para Material Particulado</i>	93
Figura 16. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Nanegal</i>	98
Figura 17. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Pintag</i>	100
Figura 18. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Alangasi</i>	101
Figura 19. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Aloag</i>	102
Figura 20. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Machachi</i>	103
Figura 21. <i>Resistencia vs Profundidad del Campo Santo Monteolivo Sur</i>	104
Figura 22. <i>Resistencia vs Profundidad del Campo Santo Jardines Santa Rosa</i>	105
Figura 23. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio Parroquia de Cutuglagua</i>	106
Figura 24. <i>Gráfico de Resistencia vs Profundidad del Campo Santo Metropolitano</i>	107
Figura 25. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de la Libertad</i>	108
Figura 26. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Chillogallo</i>	109
Figura 27. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Monteolivo Norte</i>	110
Figura 28. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio del Tejar</i>	111
Figura 29. <i>Resistencia vs Profundidad del Cementerio de San Diego</i>	112

Figura 30. <i>Cementerios críticos</i>	115
Figura 31. <i>Variación del pH en los cementerios críticos</i>	119
Figura 32. <i>Variación de la conductividad en los cementerios críticos</i>	121
Figura 33. <i>Variación del oxígeno disuelto en los cementerios críticos</i>	124
Figura 34. <i>Variación de la DBO₅ y la DQO en los cementerios críticos</i>	127
Figura 35. <i>Presencia de Material Particulado Sedimentable en crematorios de estudio</i>	130

Resumen

El crecimiento poblacional produce incremento anual del número de personas fallecidas, vueltos críticos en tiempos de pandemia, cuyo mal manejo puede llegar a contaminar el medio durante su disposición final. El presente estudio estableció índices empíricos que evalúan inicialmente las características de una zona adecuada o no, para la implantación de centros de tratamiento y disposición final. Para esto, se partió de la matriz de Saaty considerando diez variables, que arrojó cuatro cementerios y crematorios críticos de un total de 71, mismos que fueron posteriormente analizados físico-químicamente. Los resultados indicaron incremento entre 2% y 8% para pH, conductividad hasta 141%, DBO₅ hasta 115% y DQO hasta 242% respecto a las condiciones iniciales, y por el contrario disminución del OD hasta 9%, relacionándose con su influencia en el medio o por factores externos antropogénicos. Los crematorios analizados indicaron incumplimiento con normativa respecto a la cantidad de particulado sedimentable sobrepasando norma de 118% hasta 2234%, relacionándose con emisiones de hornos de combustión y vehículos que transitan por la zona. Los índices empíricos desarrollados en base a ecuaciones lineales, validados mediante 9 corridas en cementerios ubicados en zonas adecuadas, medias y no adecuadas, determinaron que valores menores a 2 corresponderían a zonas adecuadas, ligeras y medianas en rangos de [4 a 2[y no adecuadas mayores a 4. Es por ello que estos índices pueden ser utilizados como guías para conocer de manera previa la probabilidad de contaminación de un cementerio o crematorio en zona de influencia.

PALABRAS CLAVE:

- **ANÁLISIS MULTICRITERIO**
- **ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS**
- **INDICES EMPÍRICOS**

Abstract

Population growth produces an annual increase in the number of deceased people, who become critical in times of pandemic, whose mismanagement can contaminate the environment during its final disposal. The present study established empirical indices that initially evaluate the characteristics of a suitable zone or not, for the implantation of treatment centers and final disposal. For this, we started from Saaty's matrix considering ten variables, which yielded four critical cemeteries and crematoriums out of a total of 71, which were later physically-chemically analyzed. The results indicated an increase between 2% and 8% for pH, conductivity up to 141%, BOD₅ up to 115% and COD up to 242% with respect to the initial conditions, and on the contrary, a decrease in DO up to 9%, related to its influence on the environment or by external anthropogenic factors. The crematoria analyzed indicated non-compliance with normative regarding the amount of sedimentable particulate exceeding the standard of 118% to 2234%, related to emissions from combustion furnaces and vehicles that transit through the area. The empirical indices developed based on linear equations, validated by 9 runs in cemeteries located in suitable, medium and unsuitable areas, determined that values less than 2 would correspond to adequate areas, light and medium in ranges from [4 to 2 [and not suitable greater than 4. That is why these indices can be used as guides to know previously the probability of contamination of a cemetery or crematorium in the area of influence.

KEYWORDS:

- **MULTI-CRITERIA ANALYSIS**
- **PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS**
- **EMPIRICAL INDICES**

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

Armando Guzmán (2018), define a la muerte humana del hombre como un todo, considerando dos puntos de vista: el de la configuración orgánica cuyo significado solo puede caber desde la integración de las múltiples dimensiones humanas, en la que científicamente el cuerpo sufre una degradación gradual a nivel celular, por la resistencia de los tejidos a la privación de oxígeno y desde el punto de vista moderno, considerada como el cese definitivo e irreversible de las funciones de los hemisferios cerebrales y del tronco encefálico.

Desde tiempos ancestrales el hombre se ha visto en la necesidad de enfrentarse cara a cara con el inevitable destino del deceso, haciendo frente a la aparente reacción de confrontación y de rechazo al mismo, reacciones que producen una gama de tradiciones y ofrendas fúnebres por el temor a lo desconocido y la esperanza de saber que hay vida después de la muerte (Durán y Canchignia, 2016).

La costumbre humana de enterrar a los muertos, es considerada como uno de los rituales más antiguos. Se cree que se remonta a la época de los neandertales por la existencia de restos fósiles encontrados en cuevas, aunque no existe la certeza si estos entierros eran realizados a través de ceremonias y ritos o si sucedían accidentalmente (Luna, 2014).

La disposición de restos humanos también fue un hecho marcado a lo largo de la historia donde muchas pandemias golpearon duramente a la humanidad, a raíz de las cuales se desarrollaron

múltiples medios para permitir el pronto tratamiento de los cadáveres que generaban. Una de las pandemias más letales registradas fue la sucedida en los siglos del VI al VIII conocida como la plaga de justidiano o peste bubónica donde algunos historiadores creen que contribuyó a la caída del imperio romano, acabando con la vida de 30 millones de personas (Infaboe, 2020). Tanta fue la cantidad de muertos que se llegó al punto de carecer de espacios disponibles en los cementerios ubicados a las afueras de la ciudad. El emperador Justiniano requisó tumbas privadas para la disposición de cadáveres, amontonándolos en fosas comunes, llegando incluso a arrojarlos por acantilados debido al aumento excesivo de los mismos (Pirazzini, 2020).

La Gripe Española, fue otra pandemia que azotó al mundo. Conocida así por ser España la que se pronunció cuando esta azotaba a Europa, pero que en realidad se cree que se desarrolló en Estados Unidos. Causó la muerte de alrededor de 40 millones de personas en los años de 1918 y 1920 durante el desarrollo de la primera guerra mundial, marcando otra oleada de cadáveres que eran apilados en los cementerios y en fosas comunes (Fujimura, 2003).

Por otra parte, se tienen registros de la viruela que se desarrolló en 1520 y mató al 90% de los nativos americanos causando la muerte de 56 millones de personas tras la venida de Cristóbal Colón a América y que fue erradica en el siglo IX gracias a la vacunación (Coto, 2002).

La peste negra desarrollada en Asia central durante los siglos IV al IX y conocida así por el ennegrecimiento de la piel, fue considerada como una de las más devastadoras de la historia llevando a la muerte alrededor de 200 millones de personas, cuyos cadáveres eran arrojados en tumbas colectivas lejos de las ciudades (Huguet, 2020).

Desde diciembre de 2019 hasta la actualidad, la humanidad está atravesando la pandemia del SARS-CoV-2 conocido como COVID-19 que ha causado la muerte de 2,9 millones de personas a junio 2021 (Statista, 2021), sin que hasta ahora se encuentre una cura definitiva contra el virus. En muchos países la pandemia ha provocado el colapso de los sistemas sanitarios, lo cual ha implicado que, en ciertas ciudades, como es el caso de Nueva York, obtén por el uso de fosas comunes para albergar la gran cantidad de restos humanos, aumentando así el riesgo de contaminación al ambiente (Jackson, 2020).

Anteriormente, el apilamiento de cadáveres no era considerado como un problema de contaminación, ya que no se analizaban las condiciones ni el medio donde eran arrojados, sin embargo, en el estudio de Morgan O., (2004) sobre el riesgo de enfermedades infecciosas en desastres naturales, indica que los suelos no saturados durante el entierro son el principal filtro que detiene el paso de agua lluvia hacia la tumba, aquí se retienen los microorganismos patógenos que se adhieren a las partículas de arcilla. Suelos con mayor contenido de arcilla y un pH alcalino retendrán una mayor cantidad de patógenos, los cuales morirán debido a la falta de nutrientes y a la humedad reducida. No obstante, en ambientes favorables en los que la hidrogeología del sector influye en la infiltración del agua lluvia, producirá condiciones que permitan el traslado de organismos patógenos a fuentes subterráneas (Dent y Knight, 2007).

En cuanto a la cremación se cree que se desarrolló en la antigua Grecia durante la Edad de Bronce, utilizada por los griegos como medio de purificación de sus almas. Costumbres que serían

más adelante adoptadas por los romanos debido a la admiración que sentían por su cultura, siendo esta ampliamente realizada.

Durante esta práctica los restos cremados eran colocados en urnas funerarias o arrojados en columbarios. Posteriormente tras el decreto del emperador Teodosio en el año de 380 DC se convierte al cristianismo en la religión exclusiva del imperio romano y tras la declaración de Carlos Magno en el año de 789 DC se abolió la cremación que era considerada como un acto pagano e ilegal tras ser aplicada a los cadáveres por cuestiones religiosas (Lugones, Ramírez, y Ríos, 1999), pensamiento que fue cambiando con el paso del tiempo, en donde el avance científico, la higiene y la falta de espacio en cementerios dieron paso a favorecer esta práctica que fue aceptada en el siglo XIX y reconocida por la iglesia católica a partir de 1963. Después de este año el medio de disposición de los cadáveres cambiaría, provocando que este método sea aplicado ampliamente a nivel mundial, teniendo las tasas de cremación más altas en Gran Bretaña y la península Escandinava, con un porcentaje del 70%, mientras que países con una fuerte herencia católica mantienen tasas de cremación más bajas. Sin embargo, solo a partir de la culminación de la primera guerra mundial se comenzaron a construir los primeros crematorios, lo que más adelante se convertiría en una cuestión de gusto personal (Rebay-Salisbury, 2012).

En América antes de la conquista española, muchos pueblos nativos americanos practicaban una variedad de rituales en torno al difunto (Ramos, 2014), en donde al final de los mismos, el cadáver era enterrado junto con sus posesiones e introducido en una vasija de barro en posición fetal intentando recrear el vientre materno y al paso para la siguiente vida (Coraza, 2018). Después de la venida de Cristóbal Colón en 1492 y la imposición del cristianismo por los

conquistadores, se dio una transición en los rituales después de la muerte. No obstante, la tendencia de sepultar a los difuntos se mantuvo, variando a que en el cristianismo se opta por poner al cadáver en un ataúd.

En la actualidad casi todos los países de Latinoamérica, disponen a sus difuntos en lugares específicos denominados cementerios o campo santos, por lo que es necesario tener en consideración aspectos como construcción, localización y operación de los cementerios urbanos dentro de los planes de ordenamiento territorial, debido al elevado crecimiento demográfico.

Con relación a la contaminación generada, los entierros pueden ocasionar la afectación de manantiales hídricos por microorganismos que proliferan en el proceso de putrefacción, debido a que los lixiviados pueden suscitar alteraciones en acuíferos subterráneos, además de cargas virales liberadas y químicos contaminantes, que se generan como producto de personas cuya causa de muerte fue una enfermedad contagiosa o una epidemia, al haber sido sometidas a tratamientos con fuertes fármacos o elementos radioactivos, que pueden tener una vida relativamente prolongada; los mismos que exponen a los suelos y a las aguas a una contaminación radiactiva de difícil previsión y tratamiento (Méndez y Calderón, 2010).

Según estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), en el 2012 hubo 8,2 millones de muertes relacionadas con el cáncer, en las que alrededor del 65% ocurrieron en zonas menos desarrolladas y se estima que el número de casos nuevos de cáncer aumente a cerca de 23,6 millones para el 2030. Muchas de las personas detectadas con este tipo de enfermedad son

sometidas a quimioterapia, radioterapia entre otras, que liberan contaminantes considerables al medio cuando su cuerpo empieza a descomponerse.

En relación al desarrollo de la cremación en América, durante la conferencia Médica Internacional de Florencia (1869), se expuso una resolución como ayuda para la salud pública debido a la gran cantidad de gente que era enterrada. Es así que a partir de 1876 se instala el primer crematorio en el Norte de América, y ya para 1913 se habían instalado 52 crematorios en Estados Unidos, práctica que fue en aumento cuando la iglesia católica aprobó este método (Lugones et al, 1999). Cabe destacar que la etnia y la religión son parámetros importantes para seleccionar este tipo de tratamiento en cadáveres.

De acuerdo a datos recopilados por Basmajian y Coutts (2010), el 40 % de los hispanos y americanos de tez blanca dan visto bueno al tratamiento por cremación, pero los afroamericanos y los de la fe bautista no les agrada este tipo de procedimientos mortuorios debido a sus creencias religiosas. Del porcentaje que opta por la cremación, solo el 24% prefieren colocar sus cenizas dentro de los cementerios, mientras que el 76% restante prefieren por no ocupar un espacio físico. Este tipo de método convencional produce emisiones atmosféricas provenientes de las amalgamas de plata y mercurio durante la cremación de los cadáveres, además, de la presencia de dibenzodioxinas y furanos policlorados (PCDD/FS; "dioxinas") producto de los gases de combustión, que implican serios riesgos para la salud (Green, Crouch y Zemba, 2013).

En lo que respecta a Ecuador, durante el periodo preincaico se establecieron culturas como la Valdivia, Machalilla y la Chorrera, que más adelante darían paso a sociedades más grandes como

los Quitus Cara que dominaron la sierra alrededor del año 1300, y que durante la conquista Inca pasarían a formar parte del Tahuantinsuyo. Posterior a la conquista española con la venida de Diego de Almagro y Francisco Pizarro se instaurarían el catolicismo en el territorio, transición que cambiaría la forma en disponer a sus muertos, ya que anteriormente las tumbas incaicas se caracterizaban por tres formas de entierro: los mausoleos, los nichos y las cavernas (Meyers, 1994), y que tiempo después a la venida de los españoles en el siglo XVI, debido al aumento de popularidad del catolicismo, cambiarían la forma de disponer a sus difuntos que desde ese entonces serían colocados en lugares específicos conocidos como cementerios.

Actualmente según el censo del INEC del 2010, se cuenta con un 76% de católicos en Ecuador, lo que influye en el método de disposición de sus cadáveres, características que juegan un papel muy importante en la ubicación geo topográfica de los cementerios, falta de terrenos disponibles, suelos no adecuados y topografía irregular, así como, proyectos deficientes de localización e implementación de estos y poca profundidad en la superficie freática, colocan dichas construcciones como un factor de riesgo potencial para las aguas superficiales y por consiguiente para la salud (Méndez y Calderón 2010); por tal motivo el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2013), mediante Acuerdo Ministerial 3523, estableció que los cementerios se ubicarán en zonas seguras con un bajo nivel antrópico, en terrenos secos, en los cuales la capa freática, estará como mínimo a 2.50 metros de profundidad, sin embargo, estas especificaciones están normadas para nuevos cementerios a partir de julio del 2013, y la mayor parte de ellos ya se encuentran establecidos en el Ecuador desde hace años atrás, como es el caso del cementerio del Tejar que se encuentra operando desde el año de 1795, por tal razón se cree que la contaminación persiste

en estos lugares; por otra parte, no se han expedido leyes para las condiciones y ubicación geográfica de crematorios a nivel nacional.

La normativa ecuatoriana aclara que los cementerios deberán estar situados en sitios que cuenten con un permiso previo emitido por la autoridad ambiental y que deben contar con las instalaciones pertinentes, sin embargo, no se ofrecen detalles sobre su ubicación geográfica, adicionalmente, la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria- ARCSA, mediante resoluciones ARCSA-DE-040-2015-GGG y ARCSA-DE-049-2015-GGG, publicadas con registros oficiales 538 y 556 de 8 y 31 de julio de 2015 respectivamente, exceptuaron la obtención de permiso de funcionamiento a los establecimientos designados con los códigos: 16.0 Servicios Funerarios, 16.1 Salas de Velaciones, 16.3 Crematorios, 16.4 Columbarios y 16.5 Tanatorios, sin perjuicio de que dichos establecimientos se sujeten a control y vigilancia sanitaria.

De tal manera que solo dentro de Quito existen alrededor de 16 cementerios principales y 4 crematorios. Entre los cementerios más antiguos se encuentran el Tejar, San Diego y al interior de la Catedral que datan de inicios del siglo XIX, en los cuales las cifras de personas enterradas varían en cada uno de ellos, por ejemplo, solo en el cementerio de San Diego hay cerca de 51 mil cuerpos y en el Tejar alrededor de 8 mil, por otra parte, entre los lugares que ofrecen el servicio de cremación se encuentra la Sociedad Funeraria Nacional, el Campo Santo Monteolivo, la Funeraria Jardines de Valle y la Funeraria la Paz.

Actualmente el Ministerio de Salud Pública ha expedido el reglamento para el establecimiento de servicios funerarios y manejo de cadáveres mediante Acuerdo Ministerial 192 (2018), el cual

tiene por objeto regular las actividades relacionadas con la gestión cadáveres humanos y sus restos, así como el funcionamiento de establecimientos que prestan este tipo de servicios, no obstante, existen muchos cementerios que no cumplen este tipo de normas específicas (La Hora, 2010), tomando en consideración que la misma normativa indica que los cementerios existentes, sujetos a rehabilitación o ampliación deben contar con los mismos requerimientos establecidos para la construcción de nuevos campos santos, adicionalmente en este acuerdo no se han fijado condiciones ambientales óptimas en las que se puedan ubicar estos sitios. Cabe mencionar que este instrumento legal derogó a su vez, al acuerdo ministerial 3523 en el que se dispusieron ciertos parámetros de ubicación (Acuerdo Ministerial 192, 2018).

Ubicación geográfica de la zona de estudio

El estudio se desarrolló en los cementerios y crematorios de los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui de la Provincia de Pichincha. En la zona de estudio, se cuenta con un total de 71 cementerios, de los cuales 50 corresponden a cementerios públicos y 21 a cementerios privados (Arcos, 2019), distribuidos de la siguiente manera:

Cementerios del Cantón Quito

Se cuenta con un total de 60 cementerios ubicados en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), de los cuales 41 corresponden a cementerios públicos y 19 a cementerios privados.

Cementerios del Cantón Mejía

Se cuenta con un total de 8 cementerios ubicados en el cantón Mejía, de los cuales 7 corresponden a cementerios públicos y 1 cementerio privado.

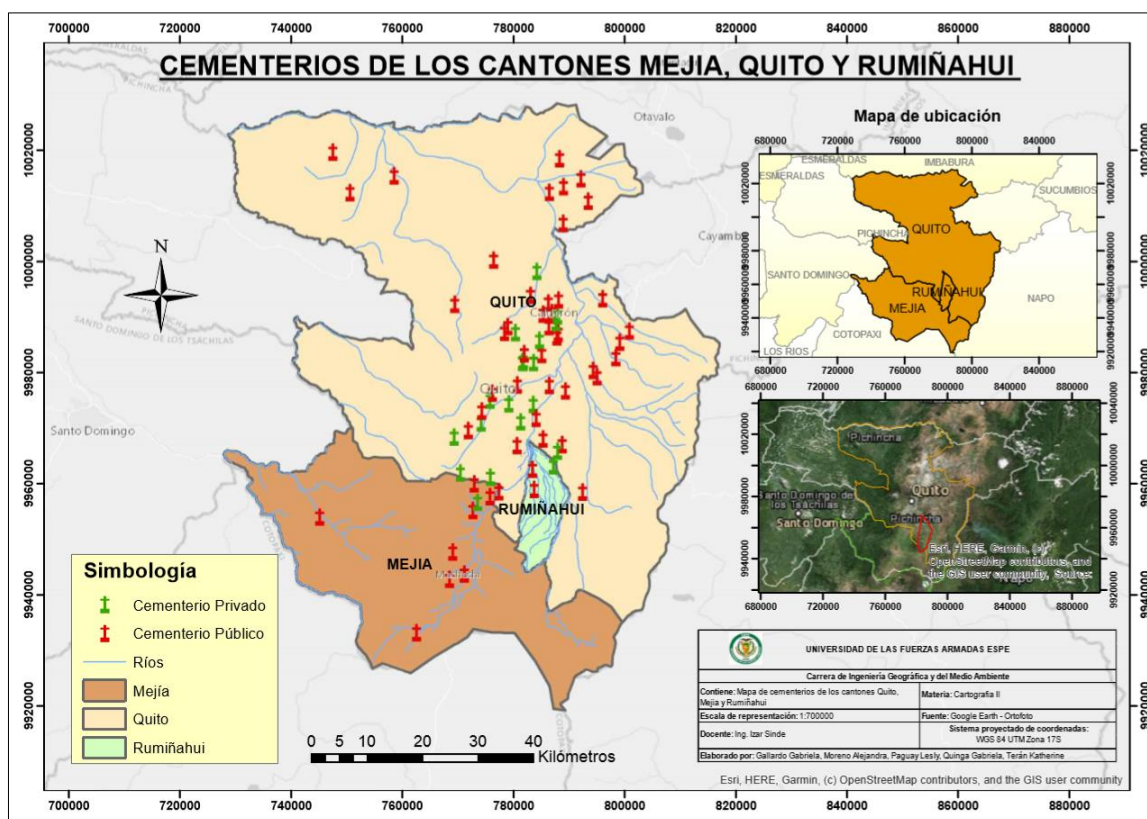
Cementerios del Cantón Rumiñahui

Se cuenta con un total de 3 cementerios ubicados en el cantón Rumiñahui, de los cuales 2 corresponden a cementerios públicos y 1 cementerio privado.

En la figura 1 se observa la ubicación de los cementerios de la zona de estudio.

Figura 1.

Área de influencia del proyecto



Nota. Recuperado de Gallardo G., Moreno A., Paguay L., Quing G. y Terán K. 2019

Con relación a los crematorios ubicados en el área de influencia, se identificaron un total de cuatro instalaciones distribuidas de la siguiente manera:

- Cementerio Necrópoli con 15 años de funcionamiento ubicado en la Avenida Río Coca y Eloy Alfaro, 170503, Cantón Quito.
- Sociedad Funeraria Nacional que representa los cementerios de Colinas de la Paz; Cementerio San Diego y el Cementerio el Batán, provee el servicio de cremación en las inmediaciones del cementerio Colinas de La Paz con 13 años de funcionamiento ubicado en la Avenida Carlos Bustamante Pérez, DC 170812, Cantón Quito.
- Funeraria Jardines del Valle con 17 años de funcionamiento ubicado en la Avenida Antonio Tandazo S/N Sector El Colibrí, Cantón Rumiñahui.
- Camposanto Monteolivo con 20 años de funcionamiento ubicado en la Avenida Simón Bolívar S/N, Sector Nayón, Cantón Quito (Terán, 2015).

Planteamiento del problema

En la actualidad existe un gran número de cementerios y crematorios que fueron situados en diferentes zonas, sin saber el potencial impacto ambiental y local que pueden causar (OMS, 1998). Según cifras del Departamento de Economía y Asuntos Sociales de las Naciones Unidas, 2019, se estima que la población a nivel mundial ronda las 7 700 millones de personas, población que al cumplir el ciclo de vida, deberá ser dispuesta en un lugar o medio adecuado, esto puede generar un impacto ambiental negativo debido a que durante la putrefacción de los cadáveres se liberan grandes cantidades de lixiviados, con un elevado grado de toxicidad y patogenicidad, que dependerán de la presencia de compuestos orgánicos y de su carga viral patogénica (Espinoza, 2007).

Un estudio sobre contaminación de agua subterránea realizado en tres cementerios de Portugal indicó elevados niveles bacteriológicos y físico químicos al ser comparados con pozos localizados a 300 metros de distancia de los cementerios (Rodrigues y Pacheco, 2003). Un segundo estudio realizado en Brasil, valoró el monitoreo de cinco pozos en torno a un cementerio en evaluación, el cual reveló la presencia de bacterias coliformes, considerado como un indicador de materia fecal o de carne en descomposición, además encontró valores de conductividad de alrededor de 700 a 1380 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual puede estar asociado a altos niveles de calcio, magnesio y sodio, adicionalmente se registraron altos valores de DQO asociados a compuestos orgánicos lábiles, nitrógeno amoniacal, aniones móviles y metales alcalinotérreos, (Fineza, Marques, Bastos y Betim, 2014).

Jonker y Olivier, 2012, indicaron composiciones minerales más altas en el cementerio Zandfontein de Sudáfrica que en sitios que se encuentran alejados del mismo, presentando concentraciones elevadas de metales como el boro con una concentración de 5,99 mg/kg, manganeso 430,66 mg/kg, níquel 44,63 mg/kg, zinc 7,76 mg/kg, cobre 17,39 mg/kg y arsénico 0,39 mg/kg los cuales son utilizados en adornos de metal o en pinturas de los ataúdes, de igual forma se evaluó la influencia de tumbas con entierros múltiples presentado concentraciones elevadas de vanadio 95,29 mg/kg, cromo 608,45 mg/kg, manganeso 566,30 mg/kg, cobalto 62,06 mg/kg, níquel 72,47 mg/kg y zinc 12,47 mg/kg.

En muchos países de Latinoamérica el mal manejo de cadáveres humanos ha presentado un serio problema debido a la falta de políticas públicas, normas y procedimientos que regulen la gestión de este tipo de residuos. Varios países subdesarrollados o llamados tercermundistas

presentan graves inconvenientes en el manejo de cadáveres humanos, ya que su mala manipulación y disposición, no solo representan un peligro para las personas que los manejan directamente (Morgan, 2002), sino que también pueden llegar a contaminar el suelo, aire y agua de las zonas de influencia directa en la fase de su disposición final, (Espinoza, 2007). Es así que muchos cementerios en ciudades como Jalisco de México o la Habana de Cuba presentan serios problemas de restos humanos y cajas mortuorias apiladas debido a que ya no tienen capacidad para recibir más (Cansio W, 2018), motivo por el cual, Dent y Kinght, 2007 consideran a los entierros humanos como un tipo particular de vertedero en el cual columnas trazables de bacterias indicadoras, sugieren que productos de descomposición microbiológica pueden llegar al agua subterránea por percolación.

Un estudio llevado a cabo en los cementerios al norte de Bogotá, identificó la presencia de tres microorganismos como indicadores de contaminación por putrecsina y cadaverina en muestras de agua superficial: *Salmonella choleraesuis*, *Enterobacter spp* y *Clostridium spp*, (Méndez y Calderón 2010).

En el Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se presentó una tasa de mortalidad para el 2017 de 5,12%, es decir, 5,12 muertes por cada cien habitantes y solamente para el año 2016 fallecieron 84 265 personas, de las cuales 10 600 correspondían a la provincia de Pichincha, que debido a las creencias religiosas de su población, la inhumación o la cremación son los procedimientos mayormente aplicados para el manejo de sus cadáveres, siendo la inhumación el más efectuado.

Una de las prácticas realizadas durante la inhumación para la conservación de cadáveres es la tanatopraxia que utiliza alcohol, metano y formaldehído, sustancia clasificada en el grupo 1 como cancerígena en los seres humanos de acuerdo a la International Agency for Research on Cancer (IARC), además que, los lixiviados no tratados producidos en la inhumación, generan impactos ambientales significativos ya que contaminan el suelo y en muchas ocasiones se infiltran hacia depósitos de agua subterránea (Canning y Szmigin, 2010), debido a los químicos que se liberan inmediatamente por la descomposición del cadáver, como de los que se utilizan para la conservación del mismo.

Con relación a las afectaciones producidas por la cremación, aunque estas carecen de carácter infeccioso debido a las altas temperaturas que se alcanzan, las cenizas pueden contener una gran cantidad de nutrientes como fosfatos que pueden producir el enriquecimiento de nutrientes afectando a ecosistemas terrestres y acuáticos debido al proceso de eutrofización (Feraz, 2016). Además, las emisiones atmosféricas producto de los gases de combustión contienen óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, dióxido de azufre, hidrocarburos aromáticos, policíclicos, y metales pesados provenientes de la incineración de amalgamas de plata y mercurio, así como, la presencia de dibenzodioxinas y furanos policlorados (PCDD/FS; "dioxinas"), que implican serios riesgos para la salud (Green, Crouch y Zemba, 2013). Un estudio realizado por Wang, Lee, Lee, Chang-Chien y Tsai, 2003, encontraron concentraciones, altas de dibenzodioxinas y furanos policlorados en sectores próximos a dos crematorios de la ciudad de Taiwán al este de China.

Cabe señalar que muchos de los crematorios se ubican cerca de zonas residenciales (Dent, Knight, 2007) y no implementan ningún tipo de sistema para la eliminación de estas emisiones contaminantes que son altamente perjudiciales para la población en general, ya que este tipo de

compuestos son considerados como sustancias químicas tóxicas persistentes por la OMS. Las emisiones producto de la cremación de cadáveres, contienen grandes cantidades de material particulado, así como el olor liberado que también podría causar serios problemas a la salud humana (Wang, Lee, Lee, Chang-Chien y Tsai, 2003), por lo que, hay que considerar que el simple hecho de cumplir un ciclo de vida hace pensar que la muerte es un tema que debe ser tratado de manera técnica y sobre todo de manera muy seria.

El problema radica en la contaminación ambiental que se genera debido a los cementerios y crematorios producto de la descomposición o combustión de los cadáveres humanos, que es capaz de afectar a las matrices ambientales y que en la zona de estudio podrían hacerlo, es por ello que la presente investigación, realizará un estudio físico y químico inicial que abarque el análisis de cementerios críticos en base al estudio de Arcos, 2020, con el criterio de estar ubicados en zonas no adecuadas o ligeramente adecuadas y los 4 crematorios ubicados en los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui, con el fin de medir parámetros como nivel freático, número de tumbas, edad del cementerio, DBO₅, DQO, pH, conductividad, oxígeno disuelto y particulado, para plantear índices empíricos que relacionen los valores obtenidos en las variables estudiadas con su potencial afectación a las matrices ambientales y así, proponer alternativas técnicas que permitan evaluar e identificar los lugares más idóneos para realizar el manejo de cadáveres.

Justificación e importancia

Debido a la contaminación generada por la liberación de los lixiviados formados por la descomposición de los cadáveres durante la inhumación, así como las emisiones atmosféricas liberadas producto de la cremación, en zonas ubicadas inadecuadamente, se propone realizar un

estudio preliminar ambiental con el fin de establecer las mejores condiciones para su disposición final debido a los altos riesgos ambientales asociados a una mala gestión de este tipo de residuos, lo que puede generar impactos ambientales significativos, como la contaminación de agua, aire y suelo. Por lo que, se plantea definir mediante índices empíricos, las mejores condiciones preliminares para la ubicación de los lugares de tratamiento y disposición final en la gestión de cadáveres humanos de los cantones Quito, Mejía y Rumiñahui de la Provincia de Pichincha. Los resultados constituirán un importante punto de partida para la actualización de las políticas públicas, normas y procedimientos del tratamiento de este tipo de desechos y podrán ser utilizados por los gobiernos autónomos descentralizados del Ecuador en la inclusión de sus planes de ordenamiento territorial.

Proyectos relacionados

Tema: Identificación de zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de camposantos en los cantones mejía, quito y rumiñahui

Autor: Arcos Yanez Esteban Sebastián

Institución: Universidad de las Fuerzas Armadas-Espe

Año: 2020

Tema: Human and Ecological Risk Assessment: Cremation, Air Pollution, and Special Use Permitting: A Case Study

Autor: Laura Green, Edmund Crouch y Stephen Zemba

Institución: Environmental Health y Toxicology, CDM Smith y Cambridge Environmental, Cambridge , MA , USA

Año: 2014

Tema: Death and disposal: The universal, environmental dilemma

Autor: Canning Louise y Szmigin Isabelle

Institución: University of Birmingham, UK

Año: 2010

Tema: Planning for the disposal of the dead

Autor: Carlton Basmajian y Christopher Coutts

Institución: Iowa State University and Florida State University, Department of Urban and Regional Planning

Año: 2010

Tema: Evaluación de las aguas subterráneas contaminadas con putrescina y cadaverina en las zonas aledañas a los cementerios del norte de Bogotá y el campus de la Universidad Santo Tomás

Autor: Mendez Yaneth y Calderón Fabián

Institución: Campus San Alberto Magno de la Universidad Santo Tomás

Año: 2010

Objetivos generales y específicos

Objetivo general

Establecer índices empíricos iniciales de contaminación ambiental generada por el manejo de cadáveres humanos en los Cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui de la Provincia de Pichincha mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y geográficos.

Objetivos específicos

- Evaluar las características ambientales y geográficas de los cementerios y crematorios de los cantones Quito, Mejía y Rumiñahui, georreferenciando su ubicación e identificando su estado y tiempo de funcionamiento.
- Caracterizar parámetros físicos y químicos (Temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, DBO₅, DQO y particulado) en cementerios y crematorios escogidos.
- Proponer alternativas técnicas para mejorar la gestión de cadáveres humanos para minimizar los impactos.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son los índices empíricos que permiten relacionar los parámetros ambientales y geográficos de los lugares de tratamiento y disposición final de cadáveres humanos en cementerios y crematorios de los cantones Quito, Mejía y Rumiñahui en el año 2021?

Hipótesis de investigación

El desarrollo de índices empíricos en base a la caracterización ambiental y geográfica de los sitios de tratamiento de cadáveres humanos, permitirá determinar la probabilidad de contaminación ambiental asociada a cementerios y crematorios de los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui en el año 2021.

Capítulo II

Marco Teórico

Concepto de la muerte en la sociedad

La esperanza de la vida después de la muerte, produce un estado de paz espiritual, de tal manera que basadas en este principio, muchas de las religiones prometen una segunda oportunidad para poder seguir existiendo, ya que la idea de partir y quedar en la nada es una de las mayores preocupaciones a las que se enfrentan la mayoría de las personas. Es así, que varias religiones basan sus doctrinas en lo intangible de la vida, en la esencia que marca una diferencia mucho más allá de lo físico y que permite la relación entre el bien y el mal, más conocido como el alma, y aunque muchas de estas se basan en la vida después de la muerte, presentan algunas diferencias (Gala et al. 2002).

Veizaga y Pinto, 2005, realizaron una representación de la muerte en distintas religiones, abordando el catolicismo, judaísmo y la metodista, relacionando cada una de ellas con el alcance de un fin común, que es el llegar con Dios, un ser omnipotente creador del cielo y de la tierra, sin embargo, las diferencias encontradas indican a que en el judaísmo puede ser necesaria más de una vida para cumplir con la misión que encomendó Dios, en cambio tanto la religión metódica como la católica creen en la resurrección para llegar a ese fin común, no obstante todas se relacionan con rituales sepulcrales en el que consideran el entierro de sus difuntos.

Concepto psicológico de la muerte en la actualidad

La muerte materializa el final de la vida, se puede ignorarla, evocarla, maldecirla, pero al final vendrá y con ella acabará la esencia, el temor y la tristeza de los seres humanos. El miedo a la

muerte es el mismo hecho de saber que ya no se volverá, no obstante, la fe de la vida después de la muerte da la esperanza de que al final se vivirá eternamente (Sanchís, 2018).

Actualmente y con los avances de la medicina y la inclusión de la tecnología se vive una batalla en contra de la muerte con el fin de ganarle días a la misma y de vivir más de lo pronosticado, esta batalla hace el uso de medicinas, nanotecnología, biotecnología, informática y ciencias del cerebro que ofrecen prologar la vida misma, al no solo poder reparar órganos, si no tejidos y células, además de poder crearlos artificialmente y colocar implantes electrónicos. No obstante, es un acontecimiento que llegará, independientemente si una persona es de elevada clase económica o pobre. Hoy por hoy se vive un ambiente en el cual el hospital se ha convertido en la morada de la muerte, en la que los médicos y la medicina actual son los pilares que pueden separar o llevar a las personas más cerca de ella (Barreto, 2018).

Aunque el concepto de la muerte, más allá de las implicaciones sociales y psicológicas abarca no solo un punto de vista ético hoy en día, sino que, a su vez comprende un punto de vista ambiental. Parsons, 2016, indicó respecto al enfoque de la muerte y el manejo ambiental, que de las investigaciones realizadas sobre este concepto un 41% abarca la muerte desde el punto de vista cultural y su impacto en la sociedad, un 39% de trabajos en torno a la pedagogía de la muerte desde el punto de vista profesional y únicamente un 20% de información relaciona a la muerte desde el punto de vista técnico, operativo y ambiental, lo que evidencia la existencia de muy pocos trabajos investigativos realizados desde este punto de vista y la necesidad de profundizar respecto al tema.

Impactos ambientales asociados a la disposición de cadáveres contexto global

El cuerpo humano desde el punto de vista espiritual como lo ven todas las religiones, es un ser provisto de un alma, representación intangible capaz de sentir, amar y responder por sus actos, sin embargo, una vez terminado su ciclo de vida al morir, según algunos contextos, deja su cuerpo para pasar a otra etapa, la vida después de la muerte. No obstante, el cuerpo carente de vida permanece en el mundo tangible y el mismo tiene una serie de implicaciones ambientales, ya que, considerando el exponencial crecimiento de la tasa poblacional, así como los tratamientos para enfermedades crónicas y prótesis o la cantidad de enfermedades, virus y bacterias a las que se ve sometido el cuerpo, representa un riesgo potencial tomando en consideración su disposición final (Morgan, 2004).

Muchas organizaciones o culturas no se han percatado del grado de contaminación que podría producir un cadáver, pues al morir, el cuerpo tiene una gran cantidad de organismos patógenos que pueden enfermar a un organismo vivo (Ferraz, 2016), por lo que se debe considerar a los cadáveres como residuos que deben ser gestionados de la manera más adecuada, sin desapegarse de los principios morales de cada región ya que esto influirá en las decisiones para disponer de sus difuntos.

Las costumbres funerarias varían dependiendo de cada cultura y los sitios destinados para este fin suelen ya estar definidos de tal manera, que la huella que dejan los cuerpos luego de la descomposición puede mantenerse por siglos o incluso milenios según investigadores, ya que así estos sean enterrados o cremados liberan sustancias que alteran la química del suelo (Alvoreiro,

2017), o pueden generar afectaciones en el agua subterránea y pueden ser una fuente de contaminación por enfermedades infecciosas peligrosas.

Zychowsky y Bryndal, 2015, en una revisión del impacto a los cementerios en el agua subterránea, encontraron que hubo un cierto aumento en el número de casos de fiebre tifoidea en personas que vivieron cerca de un cementerio en Berlín. Estudios realizados al Oeste de Alemania indicaron la presencia de esta bacteria en concentraciones 60 veces superiores a las halladas en el agua natural, detectadas a 0,5 m del agua subterránea procedente del sustrato aluvial, cuya concentración disminuía en función de la profundidad de la toma de muestras. De igual forma, en Brasil se determinó efectos adversos debido al impacto de los cementerios por la contaminación bacteriológica de las aguas subterráneas (Neckel, Costa, Nunes, Saggin y Thaines, 2016).

Además, los cementerios representan una fuente de acumulación y liberación de gran cantidad de contaminantes debido a la naturaleza orgánica del ser humano, llegando a liberar lixiviados que pueden alcanzar un volumen de hasta 40 litros para un adulto de 70 Kilos de peso, con una composición de 60% de agua, 30% de sales minerales y 10% de sustancias complejas nitrogenadas como la putrescina y la cadaverina (Méndez y Calderón, 2010), además, de la disgregación de metales pesados como zinc, cobre, hierro, manganeso, cromo, plata y aluminio por la destrucción de ataúdes que son fabricados con materiales como tintas, barnices, sellantes, dobleces, frisos y adornos (Espinoza J, 2007).

La contaminación puede llegar a acuíferos subterráneos (Willians, Temple, Pollard, Jones y Ritz, 2009; Kim, et al, 2007; Dent et al. 2007) debido a virus y bacterias presentes en la filtración de las tumbas con microorganismos como *Micrococcaceae*, *Streptococci*, *Bacillus* y enterobacterias, o el aumento de las concentraciones de sustancias orgánicas o inorgánicas naturales que pueda provocar que el agua subterránea sea no utilizable o potable (OMS, 1998).

Adicionalmente, se liberarán gases como sulfuro de hidrogeno, mercaptanos, dióxido de carbono, metano y fosfina, además de la producción de diaminas volátiles como la cadaverina y putrecsina que al degradarse generarán iones amonio NH_4^+ , nitritos NO_2^- y nitratos NO_3^- , que al estar en contacto con el agua subterránea puede contaminarla con nitrógeno y fósforo (Neckel et al. 2016), o alterar las propiedades del suelo debido a la liberación de iones de sodio, cloruro, potasio, bicarbonato, nitrato, amonio, fosfato y sulfato, (Feraz, 2016).

Spongberg y Becks, 1999, encontraron concentraciones elevadas de hierro, plomo, cobre, zinc, cobalto y arsénico, asociadas con prácticas de entierro actuales y pasadas, las cuales pueden acumularse en la profundidad de los cementerios. En un segundo estudio sobre contaminación en suelos en China y Nigeria, confirmaron que los suelos asociados con ataúdes que presentan adornos con metales pintados o madera procesada, mostraron un incremento de metales traza (Aruomero y Afolabi, 2014). Neckel, Gonzalez, Ribeiro, Oliveira y Tibério, 2016, encontraron concentraciones elevadas de cobre, zinc, hierro, manganeso, plomo y cromo en tres cementerios de Brasil al ser comparados con sitios fuera de la zona de estudio.

Respecto a las implicaciones ambientales en el proceso de cremación, durante su desarrollo se pueden alcanzar temperaturas que oscilan entre los 870° y 980°C que producen gases de combustión como NO_x, CO, SO₂ y particulado (PM) además de la volatilización de metales pesados como el mercurio que se pueden encontrar en amalgamas o implantes quirúrgicos y dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos (PCDD / Fs), estos últimos junto con los metales pesados se destacan por su toxicidad y capacidad de bioacumulación (Buschmann y Tsokos, 2014).

Mari y Domingo, 2010, revelaron estudios llevados a cabo en Alemania, Japón, Taiwan y Estados Unidos, en el cual se determinaron que las emisiones de dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos (PCDD / Fs) son bajas al ser comparadas con otras fuentes fijas, pero al no disponer de dispositivos de control de aire y estar ubicados en zonas residenciales puede generar implicaciones ambientales considerables al entorno que los rodea. Sobre las emisiones de Hg por crematorios indicaron que a nivel mundial se estima que éstas representarían alrededor de un 0,8% del total de origen antropogénico. Adicionalmente, indicaron que las emisiones de mercurio por crematorios en el Reino Unido fueron reportadas en un rango del 5,3% al 15,7% de las emisiones totales de mercurio al aire en el año 2000, las cuales se esperan que aumenten del rango de 0,4 y 1,34 toneladas a 0,68 y 2,20 toneladas en el año 2020 con el uso de esta práctica.

Métodos convencionales de disposición de cadáveres

Entierro convencional en cementerios

Esta práctica fue llevada a cabo desde tiempos remotos, considerada como una de las costumbres más antiguas que datan desde la época de los neandertales por el descubrimiento de restos fósiles encontrados en cuevas (Luna, 2014). Tiempo después, con la llegada del cristianismo

se convertiría en un acto fúnebre, con la promesa de la resurrección y la vida eterna después de la muerte, relacionando tres tipos de personajes entorno a la inhumación: el cadáver del difunto, el alma del difunto y la sociedad restante de dolientes (Rebay-Salisbury, 2012) como se puede observar en la figura 2, lo cual permite tener una conexión con la persona que dejó el mundo terrenal y pasó a un plano espiritual, motivo por el cual el entierro se aplica en la mayoría de países alrededor del mundo.

Figura 2

Entierro Convencional



Nota. Recuperado de Bianchi. 2016

Como procedimiento del entierro convencional se realiza una preservación previa del cadáver con la ayuda de formaldehído, que es un compuesto químico que ayuda a reducir la tasa de descomposición del cuerpo en un tiempo necesario para poder ser velado antes de su inhumación. Posteriormente es colocado en un cofre de madera conocido como ataúd, dispuesto en una bóveda de hormigón delgada y llevado a un espacio denominado cementerio o campo

santo que puede llegar a cubrir áreas de 2-40 hectáreas, pudiendo ser este público o privado (Hacker, 2012; Ferraz, 2016).

Proceso de descomposición cadavérica.

Después del deceso del cuerpo, se presentan una serie de características propias del proceso de descomposición, como es el caso de la rigidez cadavérica, endurecimiento de las fibras musculares debido a la degradación progresiva del Adenosín Trifosfato (ATP) en Adenosín Difosfato (ADP) y Adenosín Monofosfato (AMP), y que aparece después de unas 3 o 5 horas posterior a la muerte (Julca, 2016). Después se tiene la lividez cadavérica producto de la sedimentación de la sangre y la ausencia de coagulación que genera manchas alrededor del cuerpo de color violeta, esta fase se presenta durante las primeras 12-15 horas y no se vuelve a presentar después de las 24 horas (Ortigoza, 2018). Acto seguido y debido al descenso de la temperatura corporal, se produce un equilibrio térmico con la temperatura ambiente provocando el enfriamiento cadavérico, además por el proceso de evaporación del agua corporal se produce la deshidratación cadavérica producto de la cual se presentan dos signos en las corneas, uno cuando la misma se vuelve opaca, perdiendo transparencia conocido como signo de Stenon Louis y una segunda que se presenta como una mancha negra irregular, por oxidación de la hemoglobina en los vasos coroideos conocido como signo de Sommer (Julca, 2016).

En los siguientes 8 a 10 meses se pasará al proceso de putrefacción en el cual se descompone la materia orgánica por descomposición bacteriana, siendo el cerebro el órgano que más tarda en descomponerse, quedando como los más resistentes el corazón y el útero, cuya descomposición comenzará por la acción de bacterias intestinales, con la aparición de una mancha verde en la

sección cecoapendicular que se desarrollará después de las 24 a 36 horas de morir (Ortigoza, 2018). Luego por la acción de las bacterias anaeróbicas el cadáver comienza a hincharse y al romperse produce el desprendimiento de la epidermis que ocurre desde la parte abdominal. Dentro de las 36 a 72 horas la presión interna produce el reconocimiento de las venas en la epidermis y debido a la descomposición de tejido y órganos internos el cadáver toma una consistencia acaramelada entre la segunda y la cuarta semana, para posteriormente tornarse de un tono negruzco o pardo azulado. Pasado todo este proceso, las partes blandas poco a poco se irán descomponiendo quedando únicamente ligamento y cartílagos. El cadáver es una fuente de materia orgánica y en presencia de condiciones ambientales adecuadas y con la influencia de animales carroñeros, insectos y microorganismos descomponedores este proceso podría verse acelerado a un tiempo estimado de 2 a 5 años, tomando en consideración de la influencia de todas las variables antes mencionadas (Julca, 2016).

Implicaciones ambientales del entierro: suelo y agua.

Contaminación del suelo.

De acuerdo a la composición química del cuerpo humano, los contaminantes que en su mayoría serán liberados son amoníaco y dióxido de carbono, aunque también se liberan otro tipo de compuestos como sodio, potasio, cloruros, bicarbonatos, nitratos, fosfatos, amonio y iones sulfatos, además de dos proteínas animales que son responsables del peculiar olor a descomposición, la cadaverina y la putrecsina, las mismas que son contaminantes para el agua y tóxicos para los seres humanos y otros organismos vivos. Por otra parte, se consideran dos tipos de contaminantes que se generan en el entierro: los contaminantes internos que son los microorganismos patógenos que posee el propio organismo y contaminantes externos que son

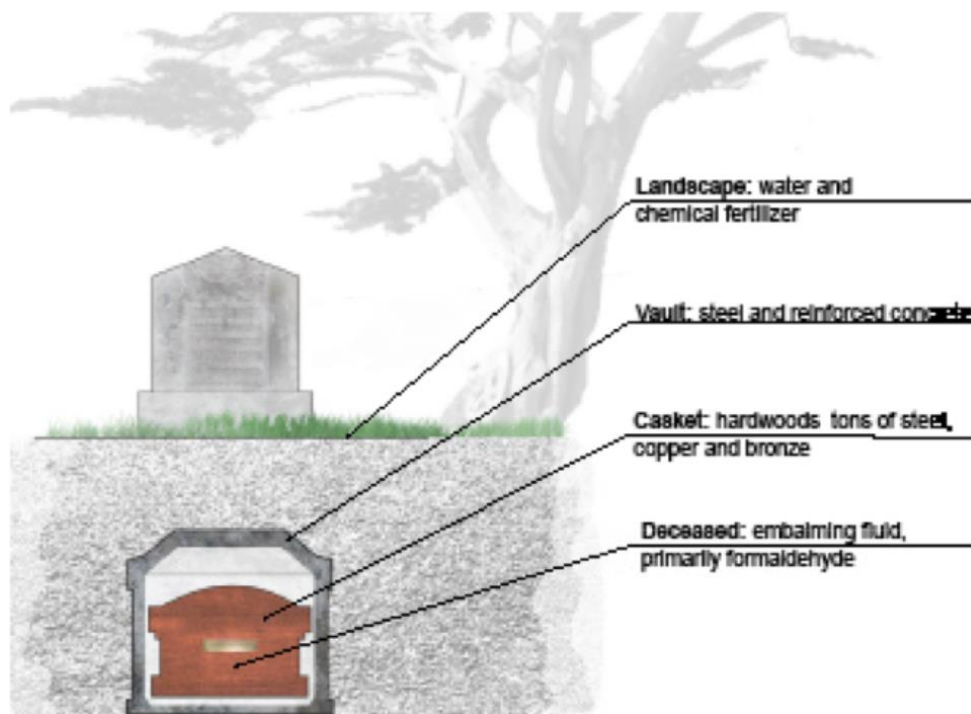
ajenos al cadáver como los componentes de los cofres de madera también denominados ataúdes que poseen conservantes, barnices y selladores, así como ataúdes metálicos que son hechos de plomo, cobre y acero, que pueden ser lixiviados bajo tierra obteniendo un riesgo de que llegue a contaminar los recursos terrestres e hídricos como aguas subterráneas o cuerpos de agua sobre tierra (Canning y Szmigin, 2010).

Harker, 2012, indicó que este tipo de práctica contemporánea es un factor ecológicamente problemático, mencionando que excavar un cementerio moderno de Estados Unidos es similar a excavar en un sitio de desechos tóxicos, debido a que cada año los cuerpos enterrados junto con químicos y materiales complementarios, comprenden un total de 30 millones de pies de madera dura, 2 700 toneladas de cobre y bronce, 104 272 toneladas de acero y 1 636 000 toneladas de hormigón armado, además de 827 060 galones de líquido de embalsamamiento o formaldehído , el mismo que puede afectar a la salud de los trabajadores funerarios, por su alta incidencia de leucemia y cáncer de cerebro y de colón. Este líquido es utilizado en un procedimiento conocido como tanatopraxia, el cual retarda el proceso de descomposición pudiendo llegar a contaminar los suelos y acuíferos subterráneos, ya que se sabe que esta sustancia es cancerígena en humanos y por lo tanto, es un compuesto tóxico para la salud (Morales, Díaz, y Sierra, 2014).

En la figura 3 se puede observar un esquema de los recursos utilizados en los tipos de entierro convencional.

Figura 3

Recursos requeridos en el entierro convencional



Nota. Recuperado de Harker. 2012

A su vez en un estudio realizado por Spongberg y Becks, 2000, indicaron la presencia de compuestos inorgánicos como metales pesados relacionados con prácticas de entierro actuales y pasadas como hierro, plomo, cobre y zinc en las muestras de suelo de cementerios al compararlas con muestras de control fuera del sitio, que se estarían acumulando en la profundidad de estos lugares.

Contaminación de agua subterránea.

Como parte del ciclo hidrológico todos los compuestos que se presentan en el suelo por procesos de infiltración pueden llegar a acuíferos subterráneos, cuyo proceso de transferencia dependerá del tipo de suelo, topografía y nivel freático (Lin, Wang & Tang, 2010).

Existen dos formas en que los cuerpos humanos generan contaminación del agua subterránea, la primera proviene de los microorganismos patógenos presentes en los organismos vivos como los virus y las bacterias, que se filtran de las tumbas por procesos de lixiviación y posiblemente sea la causa de epidemias locales de gente que usa agua subterránea (Ferraz, 2016), y la segunda que proviene del lixiviado que se genera por la misma descomposición del cadáver, el cual se caracteriza por ser una solución viscosa, rica en minerales y sustancias orgánicas, cuyo grado tóxico depende de los compuestos orgánicos inmersos y de la carga viral o bacteriana, el cual que puede contener una cantidad considerable de metales pesados como el zinc, plata, cromo y aluminio, producto de la descomposición de los ataúdes con los cuales son enterrados los difuntos ya que debido a su fabricación estos contienen sellantes, dobleces, tintas, barnices entre otros (Espinoza, 2007).

Los cementerios se han caracterizado por ser una de las principales fuentes antropogénicas de contaminación durante el proceso de descomposición. Un cuerpo humano promedio está compuesto por 64% de agua, 10% de lípidos, 6,4% de proteínas, 5% de sales minerales y 1% de carbohidratos, que tardará alrededor de 10 años en desintegrarse (Rodrigues y Pacheco, 2003). Durante esta etapa se libera alrededor de hasta 40 litros de lixiviado para un adulto de 70 Kg de peso (Méndez y Calderón, 2010), este líquido se caracteriza por tener altos valores de conductividad, pH y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) (Zychowsky y Bryndal, 2015), distribuidos en un estimado de 16 000 g de Carbono, 1 800 g de Nitrógeno, 1 100 g de Calcio, 500 g de fósforo, 140 g potasio, 100 g de sodio, 95 g de cloro, 19 g de magnesio y 4,2 g de hierro (Dent B. y Knight, 2007) que por producto de síntesis liberan al medio iones de sodio (Na^+), potasio (K^+), cloruro (Cl^-), bicarbonato (CO_3^{2-}), sulfato (SO_4^{2-}) y altas concentraciones de fosfato (PO_3^-) amonio

(NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-) (Ferraz, 2016), que podrían llegar a contaminar el agua subterránea con nitrógeno y fósforo (Neckel et al, 2016).

Żychowski, 2012, realizó un análisis general de las investigaciones realizadas en cementerios alrededor del mundo, revelando que en países como Canadá y Australia mostraron presencia de nitritos, nitratos y fosfatos cerca de sus cementerios, además que en la localidad de Adelaide en Australia se evidenció el incremento de la DBO_5 y Amonio. En otros países como el Sureste de Polonia se determinó la presencia de nitratos en época lluviosa, así como de sulfatos, fluoruros y cloruros.

En países cálidos como Brasil se encontraron cloruros, nitratos, bicarbonatos, sodio, calcio y metales pesados. Por otro lado, en el estudio llevado a cabo por Pedrosa, Figueiredo, Azevedo y Tavares, 2014, se determinaron valores elevados de conductividad eléctrica en 5 cementerios de la zona de estudio de alrededor de 274 a 1 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y pH de 7,0 a 9,4, sin embargo, no se pudo afirmar si estos valores se debían a la contaminación por cementerios o a actividades antropogénicas. Por otra parte, Neckel, 2016, determinó valores de 2 a 11,03 mg/L de DBO_5 y de 3 a 6,37 mg/L de DQO indicando que valores más altos de DBO_5 sugiere una mayor biodegradabilidad del suelo del cementerio por el contrario valores altos de DQO indican que el suelo no presenta lo necesario para una acción biodegradativa, presentando además valores de pH cercano al neutro en un rango de 6,2 a 7,27.

Controversias religiosas y sociales.

El entierro es el método más aceptado por muchas religiones, aunque el tratamiento previo para cada una de ellas puede variar dependiendo de cada creencia, lo cual incidirá en distintas

implicaciones ambientales que conlleva esta práctica, es decir, para las religiones islámicas y judías se realiza la preparación del cadáver por medio de un lavado y un vendaje, despojando al finado de cualquier tipo de revestimiento cuando se usa un ataúd para este tipo de rituales.

Otras religiones hacen hincapié en la preservación del cuerpo del difunto como lo son las creencias conyugales en Asia o como la cultura china (Veizaga y Pinto, 2005). En las prácticas cristianas como en la religión católica en los países de Europa y América, implican que el cadáver esté vestido con ropa formal y su preservación mediante el embalsamamiento se utiliza para retrasar el proceso de putrefacción hasta realizar su entierro (Canning y Szmigin, 2010).

Cremación

La cremación a diferencia del entierro reduce algunas implicaciones ambientales como es el uso y la contaminación del suelo y fuentes de agua subterránea, sin embargo, también tiene grandes repercusiones considerando las emisiones de mercurio proveniente de amalgamas dentales o los peligros asociados al incinerar dispositivos médicos y restos radioactivos que pueden afectar no solo la calidad de aire ambiente, si no la salud de los trabajadores (Ferraz, 2016; Mari y Domingo, 2010).

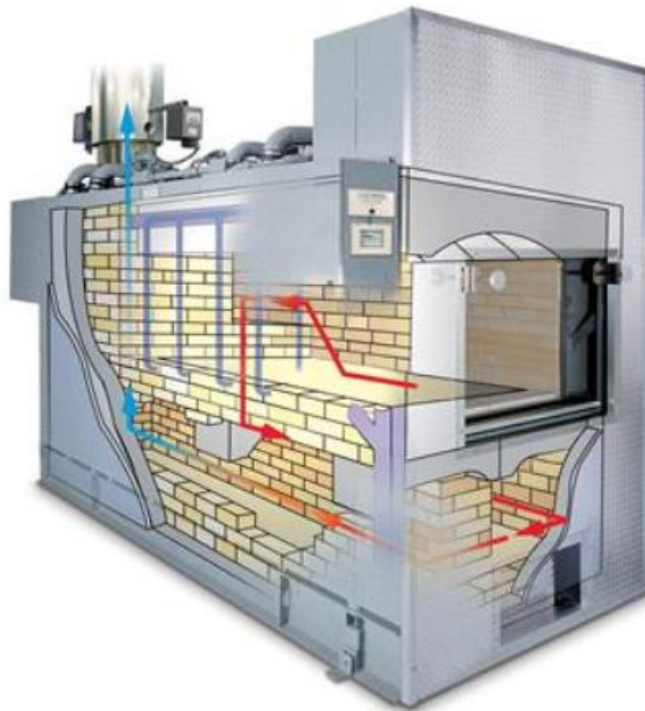
Proceso de la cremación.

Los crematorios modernos son edificaciones altamente tecnificadas cuyo proceso de incineración transcurre bajo condiciones contraladas, donde el cuerpo es sometido a una fuente continua de calor (Buschmann y Tsokos, 2014).

Como se puede visualizar en la figura 4, el incinerador u horno crematorio, es un equipo el cual está provisto de dos cámaras, la primaria o cámara refractaria que es aquella donde ocurre el proceso de incineración, y la secundaria o cámara de enfriamiento, la cual se trata de una zona de post combustión, donde se deja enfriar los restos hasta poder manipularlos (Ferraz, 2016).

Figura 4.

Representación de un horno de cremación



Nota. Recuperado de Amelia. 2015

El proceso de cremación ocurre cuando el cuerpo previo a ser incinerado es colocado en una caja o ataúd de madera destinado específicamente para esta actividad (Pérez, 2013), este féretro es trasladado mediante una banda transportadora a la cámara primaria, dentro de esta el horno es precalentado mediante quemadores que lanzan fuego y aire para romper los restos y facilitar la combustión (Funeral Natural, 2020).

Durante este proceso el control de temperatura se lo realiza mediante sensores computarizados, alcanzando valores que van de los 700 a los 850 °C, que después del precalentamiento, fluctúan durante la incineración del cadáver y se mantienen en un rango que varía entre los 800 a 1000°C, relacionándose directamente con la degradación de los tejidos corporales, ya que a medida que estos son quemados aumenta, sufriendo posteriormente una caída gradual cuando los mismos han sido calcinados, lo que toma alrededor de una media hora para sea completada (McKinley, 2013). Sin embargo, el tiempo de cremación de igual manera dependerá de la temperatura a la que es sometido el cadáver. En crematorios antiguos utilizados en el Noroeste de Europa en los Países Bajos se manejaban hornos crematorios de dos tipos, unos conocidos como de tipo frío donde se puede alcanzar una temperatura de hasta 300 °C y los de tipo cálido que puede alcanzar temperaturas de hasta 800 °C, cuyo proceso puede durar de 1,5 hasta 2,5 horas, considerando que esto puede variar dependiendo de factores como la masa corporal, contenido de agua, sexo y edad (Mari y Domingo, 2010; Keijzer y Kok, 2011).

Durante el transcurso de este tratamiento los restos humanos que consisten en 85% de humedad son vaporizados, el 10% corresponde a sólidos combustibles y un 5% corresponde a sólidos no combustibles, que permanecen como sólidos que absorben calor y energía del proceso de cremación como son los huesos y materiales de ceniza, este 5% generalmente se devuelve a la familia, bajo la forma de cenizas de cremación que resulta de la fragmentación de los huesos calcinados (Ferraz, 2016).

Impactos ambientales asociados.

Durante el proceso de la cremación debido a las altas temperaturas a las que se ve sometido el cadáver, los agentes infecciosos son eliminados en su totalidad, quedando un restante de

cenizas estériles, estos restos mortales pueden poseer una gran cantidad de nutrientes como fosfatos y nitratos que pueden provocar efectos negativos en ecosistemas acuáticos y terrestres (Yon Li et al. 2014). Respecto al incremento de nutrientes en cuerpos de agua, puede generar un fenómeno conocido como la eutrofización, aumentando la población de algas tóxicas, disminución en la mortalidad de peces o el incremento de la toxicidad de nitrato en agua potable. Por otra parte, el enriquecimiento de nitrógeno en ecosistemas terrestres, pueden producir alteración química del suelo generando ciertas variaciones en especies de plantas nativas y pérdida de biodiversidad (Guttmas, Miller y Watson, 2011).

Adicionalmente, la aplicación de la cremación produce la afectación a la calidad del aire por la liberación de material particulado (Ferraz, 2016) y emisión de gases de combustión como las dibenzodioxinas-furanos policlorados (PCDD / Fs) producto de la combustión de plásticos, que pueden estar presentes en prótesis o ser parte de los contenedores que transportan el cadáver y del cloro presente en el cuerpo humano, o en la madera que al no tratarse presenta un cierto porcentaje del mismo, los cuales pueden ingresar a la cadena alimentaria por la dispersión en el medio, pudiendo ser finalmente consumidos y almacenados en la grasa corporal (Mari y Domingo, 2010).

Otro contaminante emitido por este tipo de tratamiento es el mercurio, producto de la combustión de amalgamas utilizadas en empastes dentales que contienen de 5 a 10 gramos de este metal. Estas emisiones se depositan principalmente por medio de la lluvia pudiendo pasar directamente al medio ambiente, además de ser incorporadas al ser humano por medio de la cadena trófica (Tibau y Grube, 2019). Estudios epidemiológicos han identificado las afectaciones

que producen al ser humano indicando un mayor riesgo de muerte fetal y anencefalia en niños recién nacidos que viven cerca de crematorios (Dumer, Dickinson y Parker, 2003)

Contaminación a la calidad de aire.

Respecto a las emisiones generadas a causa del proceso de incineración, se ha establecido que debido a la combustión de materia orgánica, junto con otros elementos que se encuentren inmersos, los gases de combustión producto de este proceso serán: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados, dibenzodioxinas y dibenzofuranos, cuyas tasas de emisión dependerán del diseño del crematorio y del proceso de combustión (Ferraz, 2016). En la figura 5 se observa un proceso de cremación normal, el cual genera gases de combustión.

Figura 5

Proceso de cremación



Nota. Recuperado de Reins. 2020

La contaminación que se produce por este proceso se relaciona con la dada por las emisiones generadas a causa de la quema de combustibles fósiles, que en la mayoría de crematorios son el gas natural y el gas propano. De los elementos contaminantes más peligrosos considerados para el ser humano en este tratamiento son los compuestos volátiles de metales pesados como el mercurio, así como las dibenzodioxinas y dibenzofuranos (PCCDD; PCDF), debido a su alta toxicidad y capacidad de bioacumulación. Estos contaminantes se forman por combustión de la materia orgánica presente en el organismo y por la presencia de amalgamas dentales a base de mercurio, que fueron utilizadas desde principios del siglo XIX, hasta el 2007 donde varias asociaciones promulgaron su desestimulo y no uso en tratamientos dentales debido a las implicaciones ambientales que estas conllevaban (Mutis, Pinzón y Castro, 2011).

Green et al. 2013, estudiaron las emisiones de contaminantes peligrosos que se derivan de la cremación de cadáveres, en el que se estimó las tasas de emisión de dibenzodioxinas-furanos, policloradosdibenzofuranos (PCDD / Fs) y mercurio para determinar si representaban una concentración o dosis importante en el aire para ser considerado como contaminante, presentando un rango de valores de 0,0002 a 0,0001 pg/Kg por día para una persona promedio de 70 Kg, lo cual es inferior al establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) que establece un límite de 0,7 pg/Kg por día. Respecto al mercurio se encontró valores de 2 a 3 ng/m³ que está por debajo de los establecido en el departamento de calidad ambiental con un límite de 2500 ng/m³. Sin embargo, este estudio indica que la concentración de estos contaminantes depende del grado de dispersión del viento de la zona.

Del estudio realizado por Kindbom y Munthe, 2007, se ha estimado que las emisiones anuales por mercurio estarían alrededor de 2 a 5 toneladas por año y considerando el total de emisiones por incineración de productos y procesos que utilizan este metal. Se calculó que un 11% se emitiría al aire, 31% iría terminar en un almacenamiento seguro y un 58%, se acumularía en la sociedad, además, considerando que la población de la década de 1940 a 1960 tendría el mayor número de empaques dentales, con las nuevas alternativas para las próximas generaciones de estas emisiones se esperaría que la tendencia vaya disminuyendo. Sin embargo, en la ratificación del Convenio de Minamata, en la que muchos productos y procesos que contienen mercurio fueron prohibidos a partir el 2020, las amalgamas dentales solo aparecen como un producto de reducción gradual, siendo aún utilizada en la actualidad (Tibau y Grube, 2019).

En la investigación relacionada de la muerte neonatal, fetal y anomalías congénitas en bebés de madres que vivían cerca de incineradores y crematorios de Cumbria en Reino Unido, Dumer et al. 2003, reveló un incremento de riesgo de anencefalia (Nacimiento con cerebro subdesarrollado y cráneo incompleto, CDC,2016) y muerte fetal en el período considerado de 1956 a 1993, en el cual se observó que hubo un mayor riesgo de anomalías congénitas con un total de 1 569 casos, muerte fetal con 2 663 casos y anencefalia con 295 casos, en sitios próximos a crematorios y un riesgo de anomalía congénita letal con 2 000 casos en sitios próximos a incineradores, sin embargo, no se pudo inferir una relación causal en estas asociaciones por lo que es necesario más estudios para comparar estas anomalías.

Controversias religiosas y sociales.

Actualmente el apego de las religiones por optar por la cremación ha crecido considerablemente, mientras que hay religiones como la judía que prohíben esta práctica,

religiones como el hinduismo o budismo promueven este tipo de procedimiento mortuario debido a que el cuerpo es visualizado como impuro una vez que el alma abandona el mismo.

Con relación a la religión católica, esta fue aceptada a partir de 1963, aunque aún se sigue considerando la inhumación como opción primordial (Lugones, Ramírez y Ríos, 2014).

Alternativas a los métodos convencionales de disposición de cadáveres

Entierro natural

Los entierros naturales son entornos físicos en el que se pretende tener el menor impacto al medio devolviendo todo lo que fue dado a la madre tierra de forma natural. Se realizan en espacios confinados en los cuales se evitará la menor intervención antrópica, como es el uso de ataúdes, métodos de preservación del cadáver o grabados en lápidas, se lo realiza de una forma sustentable como es el uso de sistemas GPS para la ubicación de los sitios de entierro (Ferraz, 2016).

Proceso.

En este tipo de entierros en lugar de utilizar ataúdes de madera procesada o metálicos que lo único que producen es el confinamiento de los lixiviados que genera un cadáver y su descomposición natural, utilizan materiales biodegradables como es el uso de bambú o mimbre como se puede observar en la figura 6. Otra particularidad de este tipo de entierro es que se lo realiza a poca profundidad ya que se ha demostrado que a estas instancias el nivel de actividad de los insectos aumenta, propiciando a una mejor descomposición del cadáver (Ferraz, 2016).

Figura 6*Entierro Natural*

Nota. Recuperado de Hall Wynne. 2018

Impacto ambiental y sustentabilidad.

No se ha realizado muchas investigaciones sobre los impactos que generaría en el medio, pero comparado con el entierro tradicional son menores. En el estudio elaborado por Kim, Hall, Hart y Pollard, 2008, se indicó que la densidad media de tumbas por hectárea es menor para entierros naturales al ser comparada con los convencionales, así como, la profundidad de entierro que a su vez es menor, lo cual disminuiría el riesgo de contaminación de agua subterránea, sin embargo, no se cuenta con análisis de calidad de agua. Harker, 2012, menciona que esta alternativa puede reducir los impactos ambientales que tienen los métodos convencionales, ayudando a su vez a la población a reconectarse con los procesos naturales y su medio ambiente, debido a la creación de espacios abiertos y la restauración de hábitats naturales.

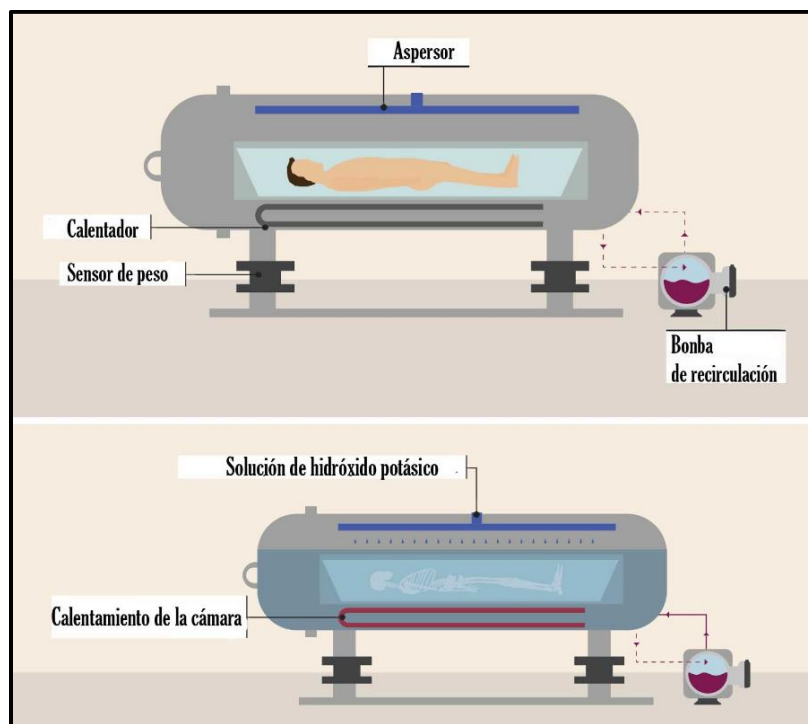
Hidrólisis alcalina

Es un método no convencional que consiste en el uso de un álcali que puede ser hidróxido de sodio o hidróxido de potasio, el mismo que se calienta o se presuriza para la descomposición de los tejidos del cadáver, el líquido restante puede ser descargado a una red de alcantarillado municipal y los restos óseos pulverizados y devueltos a la familia del difunto, actualmente está práctica, aunque muy debatible desde el punto de vista ético. Está aprobada en 10 estados de Estados Unidos, en 3 provincias de Canadá y en Australia (Ferraz, 2016).

Proceso.

La duración del proceso varía dependiendo de la presión y la temperatura a la que es sometido el cadáver. Keijzer y Kok, 2011, indican dos métodos para este tipo de tratamiento.

En el primer método el cadáver debe estar vestido con ropa de lana o de cuero y debe estar envuelto en una bolsa biodegradable para ser colocado en un resonador que tiene dimensiones similares a un horno de cremación provisto de una tubería de drenaje, en donde, dependiendo de su peso se establecerá los volúmenes exactos de álcali que serán utilizados en el mismo. Luego el resonador será sometido a una temperatura de 180 °C y una presión de 10 bares, y posteriormente se procederá a enfriar y a drenar el líquido, por lo general toma un tiempo de 2 a 3 horas. En la figura 7 se observa un ejemplo de este tipo de proceso.

Figura 7.*Hidrólisis Alcalina*

Nota. Recuperado de Eco Funerales. 2018

El segundo proceso que describe este estudio consiste en colocar al difunto en una cuba de acero inoxidable en donde es sometido a una solución de hidróxido de potasio y agua a 93 °C por un lapso de 4 horas, hasta que solo queda el esqueleto, que en este punto ya es blando, el cual puede ser triturado y entregado a la familia del difundo, este proceso únicamente utiliza del 5 al 10% de la energía que se necesita durante la cremación, y el líquido restante que sale del mismo no consta de ADN y puede ser reciclado, neutralizado o utilizado como abono, aunque aún no existen estudios sobre su composición real. En el caso de existir prótesis dentales o marcapasos, estas son separadas de los restos óseos y gestionados adecuadamente.

Impacto ambiental y sustentabilidad.

Dado que es un método que no utiliza combustión no genera emisiones a la atmósfera, ni contaminación por amalgamas de mercurio o restos de prótesis, ya que estos pueden ser recuperados e identificados fácilmente de los restos óseos, una vez finalizada la disolución en ácido, adicionalmente, la cantidad de agua y energía necesaria no son considerables debido a que un solo ciclo emplea alrededor de 500 litros de agua y 90 kWh de energía. No obstante, no hay investigaciones sobre el impacto ambiental de la descarga del efluente en las redes de alcantarillado. Ciertos grupos opositores mencionan los problemas de salud que podría conllevar, sin embargo, no hay estudios que lo certifiquen (Ferraz, 2016).

Por otra parte, tomando en consideración un caso hipotético de generalización de este proceso, el mismo hecho de que el agua se descargue al sistema de alcantarillado puede conllevar a que el efluente se recircule y se potabilice, sin embargo, se desconoce de las implicaciones éticas y morales que se puedan presentar (Rumble, Troyer, Walter y Woodthorp, 2014). Otros estudios como el de Olson, 2014, indican que la hidrólisis alcalina puede destruir las cadenas de ARN y ADN, de tal manera de eliminar patógenos incluidos agentes infecciosos, además de fluidos de embalsamiento y agentes citotóxicos.

Controversias religiosas y sociales.

Muchos argumentos se han levantado desde la aplicación de este método, como es el caso del respeto al cuerpo del difunto, mismos debates que en su momento tuvo el proceso de la cremación, pero este aún no ha sido aprobado por la iglesia católica, argumentando que disolver cuerpos en un tanque de productos químicos y luego verterlos al sistema de alcantarillado no es

una forma respetuosa de deshacerse de los restos humanos, debido al valor espiritual que va mucho más allá de lo terrenal y que muchas culturas así lo aceptan (Ferraz, 2016).

Criogenización

Actualmente es un método que está en estudio, el mismo que consiste en el congelamiento del cadáver para su posterior fragmentación, se lo lleva a cabo por ultra congelación con nitrógeno líquido en el que se puede alcanzar temperaturas de hasta $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que transforma a la materia orgánica quemada por el frío en un producto compostable libre de tóxicos y con un mínimo impacto ambiental (Eco Funerales, 2018). En la figura 8 se observa un esquema de este tratamiento.

Figura 8.

Criogenización de cadáveres.



Nota. Recuperado de Eco Funerales. 2018

Proceso.

Durante este procedimiento se requiere que el difunto sea vestido con ropa adecuada para este fin, como almidón o cuero, donde al ingresar al criogenizador y dependiendo de su peso, se calculará el volumen de nitrógeno líquido a utilizarse, hasta llegar a la temperatura baja requerida. Este tipo de tratamiento hace que el cuerpo sea frágil, por lo que, al someterlo a una presión controlada se reduce en fracciones, acto después se separa la materia orgánica de la inorgánica con el fin de eliminar prótesis o amalgamas.

Posteriormente, los restos orgánicos pasarán a un molino de agujas donde se fragmentarán y tendrán el tamaño requerido para la liofilización, sublimando el agua congelada y tratando el material seco con peróxido de hidrógeno para la eliminación de patógenos en un factor de 100 000. Lo que queda son piezas que tienen una relación de un tercio del peso original, las cuales se pueden enterrar de la forma convencional o ser devueltas a los familiares en una maceta con una planta a su elección (Ferraz, 2016).

Impactos ambientales asociados.

Presenta un menor impacto que el entierro y la cremación, pero tomando en consideración el destino final de los restos de la criogenización, así como el uso de nitrógeno líquido y electricidad para realizar este procedimiento y que los restos pueden ser de igual manera enterrados o colocados en urna, también se tendría impactos ambientales asociados. Se trata de un proceso más ecológico para el medio ambiente, debido a que, la cantidad necesaria de insumos no son considerables, de manera que un solo ciclo emplea alrededor de 700 litros de gas nitrógeno y 8,5

kWh de energía, además que el nitrógeno líquido presenta un factor de emisión (Kg CO₂eq por unidad) de 0,43 el mismo que es menor al ser comparado con el del gasóleo de 2,791 que se utiliza en los crematorios convencionales (Eco Funerales, 2018).

Controversias religiosas y sociales.

No se tiene mucha información respecto a las implicaciones que este tratamiento tendría, sin embargo, no es una práctica aceptada por la iglesia. Este procedimiento se planteó por primera vez por una bióloga sueca, en 1997, presentándose interés en el gobierno sueco por intentar legalizar esta práctica junto con otros países como España o el Reino Unido, pero no ha sido aún legalizada y sigue en investigaciones (Funeral Natural, 2020)

Normativa legal nacional para la ubicación de cementerios y crematorios

Mediante Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008, se expidió la Constitución de la República del Ecuador, en el que se establecen los deberes y obligaciones del Estado Ecuatoriano, relacionados al objeto de estudio:

- Art 3. *“1. Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular... la salud”.*
- Art 30. *“las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable”.*
- Art 32. *“La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho... ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (...)”.*

Mediante Registro Oficial 423 de 22 de diciembre de 2006, se expidió la Ley Orgánica de Salud, en el que se establece:

- Art 6. *“Es responsabilidad del Ministerio de Salud Pública... 33. Emitir las normas y regulaciones sanitarias para la instalación y funcionamiento de cementerios... crematorios (...)”*.
- Art 87. *“La instalación, construcción y mantenimiento de cementerios... crematorios... lo podrá hacer entidades públicas y privadas... Previamente se verificará la ubicación... que no constituyan riesgo para la salud (...)”*.

Mediante Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril de 2017, se expidió el Código Orgánico del Ambiente que establece:

- Art 7. *“... Son de interés público y por lo tanto deberes del Estado y de todas las personas... 5. Informar, comunicar o denunciar ante la autoridad competente cualquier actividad contaminante que produzca o pueda producir impactos o daños ambientales (...)”*.
- Art 191. *“... Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción (...)”*.

Mediante Acuerdo Ministerial 3523 publicado con Registro Oficial 28 de 03 de julio de 2013 se expidió el Reglamento para Establecimiento Servicios Funerarios y Manejo de Cadáveres,

derogando el Reglamento de Salas de Velación, Empresas Funerarias, Cementerios, Criptas, Inhumaciones, Exhumaciones, Cremación, Embalsamamiento, Formolización y Transporte de Cadáveres Humanos, en el cual se establecieron parámetros que debían cumplir los cementerios nuevos y los antiguos para su funcionamiento, mismos que se detallan en la tabla 1.

Tabla 1.

Artículos relacionados con la gestión de cementerios en el Ecuador.

Artículo	Descripción
3	<i>“Todos los establecimientos que prestan servicios de salas de velación, crematorios, tanatorios, criptas y columbarios, inclusive aquellos que presten servicios exequiales fuera de sus instalaciones, deberán obtener el respectivo permiso de funcionamiento otorgado por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - ARCSA, o quien ejerza sus competencias”</i>
15	<i>“Los cementerios se ubicarán en zonas seguras con un bajo nivel antrópico, en terrenos secos, constituidos por materiales porosos en los cuáles la napa freática, estará como mínimo a 2.50 m. de profundidad”</i>
16	<i>“Los cementerios estarán localizados en zonas alejadas de vertientes, cuyas aguas del subsuelo alimenten pozos de abastecimiento para las ciudades. No deberán intersectar con áreas protegidas establecidas por las respectivas autoridades ambientales... La superficie del terreno en que se ubique un cementerio no podrá estar dividida o separada por avenidas, autopistas o carreteras de uso público; el área destinada a sepulturas deberá estar situada como mínimo a doscientos (200) metros de distancia de aguas de consumo y de ríos, manantiales o canales de riego abiertos (...)”</i>

Nota. Recuperado de Acuerdo Ministerial 3523. 2013

De igual forma dentro de este Acuerdo Ministerial se estableció la normativa para el control de los centros de cremación, sin embargo, no especificaba artículos respecto a la ubicación para estos sitios.

Por otra parte, la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria- ARCSA, mediante resoluciones ARCSA-DE-040-2015-GGG y ARCSA-DE-049-2015-GGG, publicadas con registros oficiales 538 y 556 de 8 y 31 de julio de 2015 respectivamente, exceptuaron la obtención del permiso de funcionamiento a los establecimientos designados con los códigos: 16.0 Servicios Funerarios, 16.1 Salas de Velaciones, 16.3 Crematorios, 16.4 Columbarios y 16.5 Tanatorios, sin perjuicio de que dichos establecimientos se sujeten a control y vigilancia sanitaria.

No obstante, mediante Acuerdo Ministerial 192, publicado con registro oficial 226 de 20 de abril de 2018, se derogó el acuerdo ministerial 3523 quedando inválida la normativa para la ubicación de los cementerios, por lo que, la ubicación segura respecto a la napa freática o la distancia a cuerpo de agua fue derogada, de tal manera no se tiene normativa respecto a la ubicación que deberían tener tanto cementerios como crematorios dentro del territorio nacional.

Normativa legal internacional para la ubicación de cementerios y crematorios

El Decreto 357 de Chile indica que los cementerios deberán estar ubicados a una distancia no menor de 200 metros aguas arriba de un pozo o una fuente de agua para consumo humano, además que el terreno donde se construya el cementerio debe ser de material rocoso y con consistencia que imposibilite la excavación hasta dos metros de profundidad que es donde se ubicarán las fosas, además que los terrenos destinados para esta práctica deberán tener una pendiente que no exceda un 20%. Respecto a los crematorios se tiene que el emplazamiento debe

tener un área de alrededor de 10 000 metros cuadrados, o en su defecto la chimenea de gases de salida debe estar a una altura de 30 metros.

Por su parte, la legislación funeraria y cementerial española indica, que los campos santos deben estar alejados de los centros poblados, en terrenos mantillosos o calizos, a medio kilómetro de la urbe, con una distancia a fuentes de agua superior a los 200 metros (Nistal, 1996), argumentos que se encuentran alineados al acuerdo ministerial 3523.

A su vez, en la tabla 2, se resume las diferentes distancias a cuerpos de agua o profundidad mínima a la que se deben enterrar los difuntos de acuerdo a normas internacionales.

Tabla 2.

Normativa internacional para nivel freático y distancia a fuentes de agua.

Cuerpo de agua (m)	Nivel freático (m)	País
250	1 m por encima del nivel freático	WHO, oficina regional de Europa
250	1 m por encima del nivel freático	Reino Unido
250	1 m por encima del nivel freático	Escocia
.	0,7 m 1 por encima del nivel freático	Alemania
15 - 90	.	Estados Unidos
61	.	Alaska
120	0,5 m 1 por encima del nivel freático	Canadá

Fuente: Miller y Wiens, 2017

CAPÍTULO III

Metodología

La presente investigación se realizó bajo el esquema de una investigación aplicada, de campo y explicativa como se detalla a continuación:

1. Evaluación en gabinete de las características ambientales y geográficas de la zona de estudio
2. Diagnóstico de estado y tiempo de funcionamiento de los cementerios y crematorios de la zona de estudio
3. Determinación de la muestra de cementerios y crematorios de la zona de estudio.
4. Georreferenciación de la zona de estudio.
5. Determinación de las condiciones ambientales y geográficas a las que se encuentran los cementerios y crematorios de la zona de estudio.
6. Determinación de índices de gestión ambiental
7. Propuesta técnica para la ubicación de sitios destinados para la disposición de cadáveres humanos

Evaluación de las características ambientales y geográficas de la zona de estudio

Estos parámetros fueron determinados considerando que en el proceso de descomposición de un cadáver se ven influenciados tanto factores físicos como biológicos (Carter, Yellowlees y

Tibbett, 2006), mismos que no solo pueden acelerar el proceso de descomposición, sino que de igual forma pueden retrasarlo (Julca, 2016), motivo por el cual se decidió analizar ciertas condiciones ambientales y geográficas de la zona de estudio en época lluviosa que podrían influir en el proceso de descomposición cadavérica, y a su vez presentarían un potencial riesgo ambiental al no ser consideradas adecuadamente para la ubicación de cementerios y crematorios, las mismas que se obtuvieron basadas en los criterios que se muestran en la tabla 3 y que fueron considerados en el estudio de Arcos, 2020.

Tabla 3.

Criterios de selección para las características ambientales y geográficas.

Condición Ambiental o Geográfica	Criterio de selección
Distancia a cuerpo de agua	El Acuerdo Ministerial 3523, art. 16: los cementerios deben estar alejados de vertientes, cuyas aguas del subsuelo alimenten pozos de abastecimiento para ciudades, por lo que deben estar situados a una distancia mínima de 200 metros de aguas de consumo, ríos, manantiales o canales de riego.
Textura suelo	Spongberg & Becks, 1999, en su estudio sobre contaminación inorgánica del suelo de licado, indicó la presencia de metales pesados como Zinc, Cobre, Hierro, Plomo, Cobalto y Arsénico en valores superiores a los de fondo, metales característicos en la formación de ataúdes, contaminación que se verá agravada dependiendo de la textura del tipo de suelo que influirá de manera directa en la transferencia de contaminantes.
Densidad Poblacional	El Acuerdo Ministerial 3523, art. 15: los cementerios deberán estar ubicados en zonas seguras con un bajo nivel antrópico.
Pendiente	En el estudio de Lin, Wang & Tang, 2010, sobre la escorrentía de nutrientes en tierra inclinada en cuencas hidrográficas, evidenció que la longitud de la pendiente

	<p>influye en la pérdida de nutrientes al afectar el área de erosión del suelo, por lo que, los lixiviados liberados en pendientes pronunciadas se trasladarían a los tramos de la subcuenca más próximos, considerando a su vez que las zonas de estudio según sus PDOT se caracterizan por presentar partes altas con relieves colinados.</p>
Áreas Verdes	<p>Canning & Szmigin, 2010 y Feraz, 2016, evaluaron la contaminación en suelo y agua subterránea debido a la liberación de contaminantes orgánicos, inorgánicos y biológicos, adicionalmente, se debe considerar que en un ecosistema todos estos nutrientes como contaminantes y agentes patógenos, influirán en el medio ecosistémico en el que se están liberando.</p>
Centro Histórico	<p>Ordenanza 260 del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (MDMQ) establece sobre las áreas y bienes patrimoniales que no se puede implementar nuevos equipamientos cerca del centro histórico, en esto si incluye salas de velación, cementerios o salas de velación.</p>
Precipitación	<p>Julca, 2016, en el estudio de descomposición cadavérica y determinación del intervalo post mortem, se refirió que las características ambientales en el proceso de putrefacción influyen para que se pueda acelerar o retrasar el proceso, por lo que, se debe considerar que varias reacciones metabólicas para organismos microbiológicos se ven influenciados de forma directa en presencia de un mayor aporte de agua en su medio.</p>
Temperatura	<p>Pachar, 2013, en su estudio de cambios post mortem en ambientes tropicales, indicó que altas temperaturas y la humedad son condiciones que aceleran el proceso de putrefacción, en la que se afirma que el rango de temperatura óptima para el proceso de descomposición está entre los 21 a 38°C.</p>

Diagnóstico de estado y tiempo de funcionamiento

En base a la investigación de Arcos, 2020, en el presente trabajo se planteó utilizar los mismos rangos que abarcó ese estudio considerando 6 de sus 8 factores geográficos ambientales. Sin embargo, se decidió descartar dos variables: “distancia a áreas verdes y distancia al centro histórico, ya que estas no inciden en la posible contaminación de acuerdo al análisis bibliográfico, debido a que se encuentran a distancias mayores a las críticas. Por lo tanto, se resolvió reemplazarlas por cuatro nuevos determinantes: nivel freático, número de tumbas, edad del cementerio y falla geológica.

Nivel freático

Este nuevo parámetro fue considerado debido a que Miller y Wiens, 2017, indicaron que el agua es el principal medio de transporte de contaminantes, y que estos disminuyen al aumentar la distancia entre la fuente. Adicionalmente, el Acuerdo Ministerial 3523, en su artículo 15 establece que los cementerios deben estar ubicados en terrenos secos cuyo nivel freático es 2,5 metros de profundidad.

Los datos pertenecientes a este apartado fueron obtenidos a través de información cartográfica “Mapa de nivel piezométrico” proporcionada por la Ex Secretaría del Agua del Ecuador.

Determinación del número de tumbas y año de operación

Estos parámetros fueron considerados como determinantes por medio de un panel de expertos. Para la obtención de los datos del número de tumbas y año de operación se procedió

hacer consultas vía telefónica o visitas a estos establecimientos, levantando la información que se muestra en las tablas 4, 5 y 6.

Tabla 4.

Año de operación y número de tumbas de cementerios de Quito.

Zona	Cementerio	Año	No Tumbas
CALDERÓN	Cementerio de Bellavista	1898	400***
	Cementerio de San Juan	1986	8000***
	Cementerio San Francisco de Asis	1936	500***
	Cementerio Barrio la Esperanza	1960***	500***
	Parques del Recuerdo Calderón	1992	14000
	Cementerio San Miguel	1980	400***
	Cementerio Calderón	1934	800
	Cementerio Ayapamba	1999	10000
	Cementerio Llano Grande	1970	500***
	Cementerio Llano Chico (10)	1937	1400***
ELOY ALFARO	Cementerio Paraíso de la Magdalena	1906	5132
	Sepulcro del Padre Carolo (2)	2005	1
EUGENIO ESPEJO	Cementerio San Isidro	1942	800***
	Cementerio Zambiza	1920***	1000***
	Cementerio El Batán	1943	59817
	Cementerio Alemán	1938	1000
	Cementerio Necrópoli	2005	24000*
	Cementerio Monteolivo (6)	1994	50000

	Cementerio Chaguarco	1960	50
	Cementerio Nanegal	1970	500***
	Cementerio Vía Pacto	1980***	500***
	Cementerio San José de Minas	1935	4500
	Cementerio Atahualpa	1894	800
	Cementerio Chavezpamba	1910	300
	Cementerio de Perucho	1820	380
LA DELICIA	Cementerio General	1990	100
	Cementerio General de Puellaro	1910	1000
	Cementerio de Calacali	1920	3000***
	Cementerio San Antonio de Pichincha	2003	967***
	Cementerio de Pomasqui	1933	6000
	Cementerio Parroquia de Nono	1909	710
	Cementerio el Condado	1995	4784***
	Cementerio de Cotocollao	1947	1500
	Parque de los recuerdos (16)	1971	15000
		Cementerio Guangopolo	1950
	Cementerio Colinas de la Paz	1999	3331
	Cementerio de Conocoto	1945**	2000***
LOS CHILLOS	Cementerio Amaguaña	1939	2672
	Cementerio el Tingo	1913	400
	Cementerio Campo Santo La Merced	1970	860
	Cementerio Alangasi	1972	8000***
	Cementerio Pintag (8)	1958	8000***

MANUELA SAENZ	Cementerio de Guapulo	1901	1000***
	Cementerio el Tejar	1795	8189
	Cementerio San Diego	1872	51606
	Campo Santo Jardines del Paraíso	2010	720
QUITUMBE	Cementerio de Chilligallo	1910	40000
	Cementerio la Libertad	1994	130
	Camposanto Metropolitano	2010	10000
	Monte Olivo Sur Campo Santo	1994	50000
TUMBACO	Cementerio de Guayllabamba	1872	8000
	Cementerio el Quinche	1906	4000***
	Cementerio Checa	1919	2000***
	Cementerio de San Carlos Yaruqui	1985	3500***
	Cementerio de Puenbo	1920***	1500***
	Cementerio de Tababela	1952	600***
	Cementerio de Cumbaya	1980	3030
	Cementerio de Tumbaco	1979	5100
Campo Santo Jesús del Gran Poder	1970	200	

*Cenizas

**Fundación de la iglesia

***Aproximadamente

Tabla 5.

Año de operación y número de tumbas de cementerios en Rumiñahui.

Cementerio	Año	No Tumbas
Jardines del Valle	1993	9759
Municipal Sangolqui	1950	7820

Cotogchoa	1938	593
-----------	------	-----

Tabla 6.

Año de operación y número de tumbas de cementerios en Mejía.

Cementerio	Año	No Tumbas
Cementerio Parroquial de Cutuglagua	1973	10000
Cementerio de Uyumbicho	1940***	1000
Campo Santo Jardines Santa Rosa	2010	15000
Campo Santo de Tambillo	1950	2000***
Cementerio de Aloag	1949	4000***
Cementerio de Machachi	1820	30000
Cementerio General de Aloasi	1950***	1000***
Cementerio General de Chaupi	1960	550

*** Aproximadamente

Falla Geológica

Este nuevo parámetro fue considerado debido a que Altamirano y Martínez, 2014 y Alvarado, 2012, indican que Quito debido a su ubicación se encuentra en un contexto sísmico y volcánico muy activo, además, que a lo largo de su historia Quito ha sufrido 7 sismos considerables entre los que se resaltan los de 1587, 1860, 1920, 1957, 1963, 1997 y 2014, pudiendo esto afectar a las estructuras de las fosas y a posibles infiltraciones de contaminantes a nivel freático.

Los datos pertenecientes a este apartado fueron obtenidos a través de información cartográfica “Mapa de Fallas Geológicas” proporcionada por la Ex Secretaría del Agua del Ecuador.

Una vez declarados los criterios de trabajo, se procedió a relacionar las variables planteadas y la escala categorización con el fin de determinar las condiciones más adecuadas, para poder estandarizar los cementerios de los cantones en estudio (Arcos, 2020), tal como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7.

Variables, criterios y estandarización.

Variable	Criterio	Valor	Categoría
NIVEL FREÁTICO	0,5-1,5 m	5	No adecuado
	1,5-2,5 m	4	Ligeramente adecuado
	2,5-3,5 m	3	Moderadamente adecuado
	3,5-4,5 m	2	Muy adecuado
	> 4,5 m	1	Completamente adecuado
HIDROGRAFÍA	0-200 m	5	No adecuado
	200-500 m	4	Ligeramente adecuado
	500-1500 m	3	Moderadamente adecuado
	1500-4000 m	2	Muy adecuado
	>4000 m	1	Completamente adecuado
PRECIPITACIÓN	> 3000 mm	5	No adecuado
	2000-3000 mm	4	Ligeramente adecuado
	1000-2000 mm	3	Moderadamente adecuado
	500-1000 mm	2	Muy adecuado

	0-500 mm	1	Completamente adecuado
PENDIENTE	Muy Fuerte > 40%	5	No adecuado
	Fuerte 25-40 %	4	Ligeramente adecuado
	Media 5-25 %	3	Moderadamente adecuado
	Suave 2-5 %	2	Muy adecuado
	Nivel 0-2 %	1	Completamente adecuado
TEXTURA DEL SUELO	Arena gruesa	5	No adecuado
	Arenoso	5	No adecuado
	Areno francoso	5	No adecuado
	Franco Arenoso	4	Ligeramente adecuado
	Franco	4	Ligeramente adecuado
	Franco limoso	4	Ligeramente adecuado
	Franco arcillo-arenoso	3	Moderadamente adecuado
	Franco arcillo-limoso	3	Moderadamente adecuado
	Franco Arcilloso	2	Muy adecuado
	Limoso	2	Muy adecuado
	Arcillo-arenoso	2	Muy adecuado
	Arcillo-limoso	1	Completamente adecuado
	Arcilloso	1	Completamente adecuado
TEMPERATURA AMBIENTE	> 20 °C	5	No adecuado
	16-20 °C	4	Ligeramente adecuado
	11-15 °C	3	Moderadamente adecuado
	6-10 °C	2	Muy adecuado
	1-5 °C	1	Completamente adecuado

NÚMERO DE TUMBAS	> 50001 und	5	No adecuado
	25000 – 50000 und	4	Ligeramente adecuado
	5001 – 25000 und	3	Moderadamente adecuado
	1001 – 5000 und	2	Muy adecuado
	0 – 1000 und	1	Completamente adecuado
DENSIDAD POBLACIONAL	Muy Alta > 160 hab/km ²	5	No adecuado
	Alta 81-160 hab/km ²	4	Ligeramente adecuado
	Media 21-80 hab/km ²	3	Moderadamente adecuado
	Baja 3-20 hab/km ²	2	Muy adecuado
	Zonas vacías 0-2 hab/km ²	1	Completamente adecuado
EDAD DEL CEMENTERIO	< 1833 año	5	No adecuado
	1833 -1933 año	4	Ligeramente adecuado
	1933 – 1983 año	3	Moderadamente adecuado
	1983 – 2008 año	2	Muy adecuado
	2008 – 2020 año	1	Completamente adecuado
FALLA GEOLÓGICA	0 – 5 Km	5	No adecuado
	5 – 10 Km	4	Ligeramente adecuado
	10 – 15 Km	3	Moderadamente adecuado
	15 – 20 Km	2	Muy adecuado
	> 20 Km	1	Completamente adecuado

Determinación de la muestra de cementerios y crematorios de la zona de estudio

Determinación del tamaño de muestra para cementerios

Para la determinación del tamaño de muestra para los cementerios de estudio se realizó un proceso de jerarquización como se muestra a continuación.

Proceso analítico jerárquico.

Mediante este proceso se realizó la relación de las variables cualitativas y cuantitativas por medio de una matriz de priorización de Satty, la misma que para su generación y en base al criterio de un panel de expertos, identificó las características más idóneas a través de una escala numérica que establece grados de priorización (Saaty, 2008), como se observa en la tabla 8.

Tabla 8.

Escala fundamental de números absolutos

Intensidad de importancia	Definición	Explicación
1	Igual importancia	Los dos criterios contribuyen igualmente al objetivo
3	Importancia moderada	El juicio y la experiencia favorecen ligeramente un criterio sobre otro
5	Importancia fuerte	El juicio y la experiencia favorecen fuertemente un criterio sobre otro
7	Importancia muy fuerte	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre otro
9	Importancia extrema	Un criterio sobre otro es favorecido con el criterio de afirmación más alto posible
2,4,6,8.	Valores intermedios	Cuando son necesarios
Recíprocos	Si el criterio <i>i</i> tiene asignado uno de los números anteriores cuando se compara con el criterio <i>j</i> , entonces <i>j</i> tiene el valor recíproco cuando se compara con <i>i</i> .	

Nota. Recuperado de Saaty. 1988

Matriz pareada de juicios.

Para establecer este determinante se generó la pregunta: ¿Qué tan importante es el elemento de la columna izquierda con el de la fila superior de la matriz, en la relación al objetivo en

cuestión? (Arcos, 2020); considerando que la matriz resultante debe cumplir con las propiedades de reciprocidad, homogeneidad y consistencia (Saaty, 1986), tal como se presenta en la tabla 9.

Tabla 9.

Matriz pareada de comparaciones.

	NFR	DFA	TS	DP	%P	NT	EC	P	T°	FG
NFR	1,00	2,00	5,00	8,00	4,00	7,00	6,00	3,00	6,00	7,00
DFA	0,50	1,00	4,00	7,00	3,00	6,00	5,00	2,00	5,00	6,00
TS	0,20	0,25	1,00	4,00	0,50	3,00	2,00	0,33	2,00	3,00
DP	0,13	0,14	0,25	1,00	0,20	0,50	0,33	0,17	0,33	0,50
%P	0,25	0,33	2,00	5,00	1,00	4,00	3,00	0,50	3,00	4,00
NT	0,14	0,17	0,33	2,00	0,25	1,00	0,50	0,20	0,50	1,00
EC	0,17	0,20	0,50	3,00	0,33	2,00	1,00	0,25	1,00	2,00
P	0,33	0,50	3,00	6,00	2,00	5,00	4,00	1,00	4,00	5,00
T°	0,17	0,20	0,50	3,00	0,33	2,00	1,00	0,25	1,00	2,00
FG	0,14	0,17	0,33	2,00	0,25	1,00	0,50	0,20	0,50	1,00

NFR = Nivel Freático; DFA= Distancia a fuentes de agua; TS= Tipo de suelo; DP= Densidad Poblacional; %P= Pendiente; NT= Número de tumbas; EC= Edad del Cementerio; P= Precipitación; T°= Temperatura; FG= Falla Geológica

Matriz de prioridades.

Con el fin de determinar los valores de priorización y que la matriz sea obtenida de una forma exacta, esta fue elevada a grandes potencias, cuya respuesta se aproximó al sumar cada fila de la matriz y dividirla por su total (Saaty, 2008).

De tal manera que estas operaciones fueron ejecutadas por medio de una hoja de cálculo hasta que la matriz de prioridades no varió sus resultados, como se muestra en la figura 9 y en la tabla 10.

Figura 9.

Cálculo de matriz de prioridades

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
	Matriz de Comparación (A)												Suma filas	Prioridad	
2			1,00	2,00	5,00	8,00	4,00	7,00	6,00	3,00	6,00	7,00	49,00	0,2508	
3			0,50	1,00	4,00	7,00	3,00	6,00	5,00	2,00	5,00	6,00	39,50	0,2022	
4			0,20	0,25	1,00	4,00	0,50	3,00	2,00	0,33	2,00	3,00	16,28	0,0834	
5			0,13	0,14	0,25	1,00	0,20	0,50	0,33	0,17	0,33	0,50	3,55	0,0182	
6			0,25	0,33	2,00	5,00	1,00	4,00	3,00	0,50	3,00	4,00	23,08	0,1182	
7			0,14	0,17	0,33	2,00	0,25	1,00	0,50	0,20	0,50	1,00	6,09	0,0312	
8			0,17	0,20	0,50	3,00	0,33	2,00	1,00	0,25	1,00	2,00	10,45	0,0535	
9			0,33	0,50	3,00	6,00	2,00	5,00	4,00	1,00	4,00	5,00	30,83	0,1578	
10			0,17	0,20	0,50	3,00	0,33	2,00	1,00	0,25	1,00	2,00	10,45	0,0535	
11			0,14	0,17	0,33	2,00	0,25	1,00	0,50	0,20	0,50	1,00	6,09	0,0312	
12			Primera Operación										195,34	1,00	
13			10,00	13,96	47,67	152,00	31,60	107,00	71,67	20,80	71,67	107,00	633,36	0,2940	
14			7,47	10,00	33,25	115,00	21,73	79,00	51,33	14,40	51,33	79,00	462,52	0,2147	
15			2,78	3,60	10,00	39,85	6,85	25,57	15,62	4,88	15,62	25,57	150,34	0,0698	
16			0,73	1,05	3,26	10,00	2,26	6,95	4,73	1,54	4,73	6,95	42,20	0,0196	
17			4,00	5,16	15,00	59,33	10,00	38,75	23,83	7,02	23,83	38,75	225,68	0,1048	
18			1,12	1,54	4,48	15,09	3,12	10,00	6,57	2,18	6,57	10,00	60,69	0,0282	
19			1,81	2,39	6,63	24,90	4,62	15,95	10,00	3,28	10,00	15,95	95,54	0,0443	
20			5,53	7,21	22,50	84,17	14,70	56,33	35,50	10,00	35,50	56,33	327,77	0,1521	
21			1,81	2,39	6,63	24,90	4,62	15,95	10,00	3,28	10,00	15,95	95,54	0,0443	
22			1,12	1,54	4,48	15,09	3,12	10,00	6,57	2,18	6,57	10,00	60,69	0,0282	
23			Segunda Operación										2154,32	1,00	
24			1190,10	1595,12	4765,18	16969,33	3240,76	11270,10	7228,42	2243,63	7228,42	11270,10	67001,15	0,2952	
25			856,48	1149,10	3435,46	12203,43	2337,21	8109,68	5206,69	1617,60	5206,69	8109,68	48232,02	0,2125	
26			280,29	376,60	1131,57	4001,76	768,96	2665,38	1714,42	531,19	1714,42	2665,38	15849,96	0,0698	
27			81,90	109,71	328,62	1171,04	223,17	778,35	499,10	154,35	499,10	778,35	4623,69	0,0204	
28			416,12	559,09	1677,38	5933,66	1140,58	3949,96	2540,37	788,35	2540,37	3949,96	23495,82	0,1035	
29			117,12	157,07	471,53	1675,32	320,16	1114,80	715,70	221,23	715,70	1114,80	6623,45	0,0292	
30			181,42	243,58	732,20	2593,47	497,26	1727,26	1110,29	343,44	1110,29	1727,26	10266,48	0,0452	
31			602,84	809,53	2424,13	8589,68	1649,07	5713,10	3671,74	1140,64	3671,74	5713,10	33985,58	0,1497	
32			181,42	243,58	732,20	2593,47	497,26	1727,26	1110,29	343,44	1110,29	1727,26	10266,48	0,0452	
33			117,12	157,07	471,53	1675,32	320,16	1114,80	715,70	221,23	715,70	1114,80	6623,45	0,0292	
34			Tercera Operación										226968,09	1,00	
35			13471704,6	18077623,3	54208211,1	192359055,2	36837759,8	127975107,7	82200846,6	25466507,6	82200846,6	127975107,7	76072770,16	0,2951	
36			9702384,4	13019599,4	39041054,2	138537769,4	26530769,3	92168228,1	59201456,7	18341124,5	59201456,7	92168228,1	547912070,66	0,2126	
37			3187635,1	4277484,1	12826677,8	45154566,7	8716500,4	30281182,8	19450232,1	6025839,5	19450232,1	30281182,8	180012423,34	0,0698	
38			928777,5	1246322,3	3732727,1	13261811,0	2539702,8	8822996,4	5667178,7	1755733,6	5667178,7	8822996,4	52449974,44	0,0203	
39			4727037,4	6343205,8	19021026,4	67496134,2	12925940,3	44904781,6	28843266,5	8935889,5	28843266,5	44904781,6	266945329,67	0,1036	
40			1330701,6	1785664,2	5354581,1	19000797,9	3638757,0	12641119,1	8119640,8	2515534,1	8119640,8	12641119,1	75147545,89	0,0292	
41			2063574,0	2769106,3	8303586,1	29465301,7	5642783,6	19603104,4	12591475,2	3900934,8	12591475,2	19603104,4	116534445,61	0,0452	
42			6838062,1	9175981,9	27515473,2	97638853,7	18698437,4	64958505,5	41724157,5	12926508,4	41724157,5	64958505,5	386158642,72	0,1498	
43			2063574,01	2769106,32	8303586,104	29465301,7	5642783,629	19603104,38	12591475,2	3900934,771	12591475,16	19603104,38	116534445,61	0,0452	
44			1330701,58	1785664,25	5354581,076	19000797,9	3638757,045	12641119,11	8119640,82	2515524,135	8119640,821	12641119,11	75147545,89	0,0292	
45			Cuarta Operación										2577615194,00	1,00	
46			1,74E+15	2,33E+15	6,99E+15	2,48E+16	4,75E+15	1,65E+16	1,06E+16	3,28E+15	1,06E+16	1,65E+16	9,81E+16	0,2951	
47			1,25E+15	1,68E+15	5,03E+15	1,79E+16	3,42E+15	1,19E+16	7,63E+15	2,36E+15	7,63E+15	1,19E+16	7,06E+16	0,2126	
48			4,11E+14	5,51E+14	1,65E+15	5,87E+15	1,12E+15	3,90E+15	2,51E+15	7,77E+14	2,51E+15	3,90E+15	2,32E+16	0,0698	
49			1,20E+14	1,61E+14	4,82E+14	1,71E+15	3,27E+14	1,14E+15	7,30E+14	2,26E+14	7,30E+14	1,14E+15	6,76E+15	0,0203	
50			6,09E+14	8,18E+14	2,45E+15	8,70E+15	1,67E+15	5,79E+15	3,72E+15	1,15E+15	3,72E+15	5,79E+15	3,44E+16	0,1036	
51			1,72E+14	2,30E+14	6,90E+14	2,45E+15	4,69E+14	1,63E+15	1,05E+15	3,24E+14	1,05E+15	1,63E+15	9,69E+15	0,0292	
52			2,66E+14	3,57E+14	1,07E+15	3,80E+15	7,27E+14	2,53E+15	1,62E+15	5,03E+14	1,62E+15	2,53E+15	1,50E+16	0,0452	
53			8,81E+14	1,18E+15	3,55E+15	1,26E+16	2,41E+15	8,37E+15	5,38E+15	1,67E+15	5,38E+15	8,37E+15	4,98E+16	0,1498	
54			2,6599E+14	3,5693E+14	1,07031E+15	3,798E+15	7,27339E+14	2,52679E+15	1,623E+15	5,0282E+14	1,623E+15	2,52679E+15	1,50E+16	0,0452	
55			1,7152E+14	2,3017E+14	6,90191E+14	2,4491E+15	4,69026E+14	1,6294E+15	1,0466E+15	3,24245E+14	1,0466E+15	1,6294E+15	9,69E+15	0,0292	
														3,32E+17	1,00

Tabla 10.

Matriz de prioridades W.

Variables	Peso de la variable
Nivel Freático	0,2951

Distancia a fuentes de agua	0,2126
Tipo de suelo	0,0698
Densidad poblacional	0,0203
Pendiente	0,1036
Número de tumbas	0,0292
Edad del Cementerio	0,0452
Precipitación	0,1498
Temperatura	0,0452
Falla Geológica	0,0292

Cálculo de consistencia.

Una vez generada la matriz de prioridades (W) se debe comprobar su consistencia, para lo cual se tomó a W junto con la suma de columnas de la matriz de comparación pareada (B), y se buscó el máximo vector propio de la matriz pareada conocido como λ_{max} (Saaty, 2000).

Mediante la tabla 11, se muestra la determinación de la suma de las columnas de la matriz de comparación pareada (B).

Tabla 11.

Matriz de suma de columna B.

	NFR	DFA	TS	DP	%P	NT	EC	P	T°	FG
S	3,027	4,959	16,917	41,000	11,867	31,500	23,333	7,900	23,333	31,500

NFR = Nivel Freático; DFA= Distancia a fuentes de agua; TS= Tipo de suelo; DP= Densidad Poblacional; %P= Pendiente; NT= Número de tumbas; EC= Edad del Cementerio; P= Precipitación; T°= Temperatura; FG= Falla Geológica; S= Suma

Posteriormente se procedió al cálculo de λ_{max} , por medio de la ecuación 1:

$$\lambda_{max} = B * W \quad (1)$$

Donde:

λ_{max} = Máximo vector propio de la matriz pareada, valor escalar.

W= Matriz de prioridades

B= Matriz de la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparación pareada.

Obteniéndose

$$\lambda_{max} = 10,3224$$

Acto seguido se calculó el índice de consistencia de la matriz pareada a partir de la ecuación 2.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Donde n es el tamaño de la matriz pareada.

Obteniéndose, para un valor de n igual a 10

$$CI = \frac{10,3224 - 10}{10 - 1} = 0,0358$$

El resultado obtenido se relaciona mediante el índice de consistencia aleatoria (CR), a través de la ecuación 3

$$CR = \frac{CI}{\text{Indice de Consistencia Aleatoria}} \quad (3)$$

Donde, este índice fue generado por medio de la tabla 12 (Saaty, 2000).

Tabla 12.*Índice de consistencia aleatoria.*

TM (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CA	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

TM= Tamaño de la matriz; CA= Consistencia Aleatoria

Nota. Recuperado de Saaty. 2000

Por lo que, para un valor de n igual a 10

$$CR = \frac{0,0358}{1,49} = 0,0240$$

Para determinar si el valor resultante de la matriz generada fue consistente, Saaty, 2000, indica que la máxima relación de consistencia aceptada para matrices mayores de tamaño 5, es de un valor de hasta el 10%, de lo que se obtuvo.

$$0,0240 * 100 = 2,40\%$$

$$2,40 \% < 10 \%$$

Con lo que los juicios determinados de la matriz pareada son consistentes.

Determinación del tamaño de muestra para crematorios

Para la determinación del tamaño de muestra para los crematorios de la zona de estudio, debido al reducido número del universo se decidió realizar el desarrollo de la investigación en todos estos, como se indica en la tabla 13:

Tabla 13.*Crematorios de la Zona de Estudio.*

Cantón	Crematorio	Años de Funcionamiento
QUITO	Necropoli	15
	Colinas de la Paz	13
	Campo Santo Monteolivo	20
RUMIÑAHUI	Jardines del Valle	17

Georreferenciación de la zona de estudio

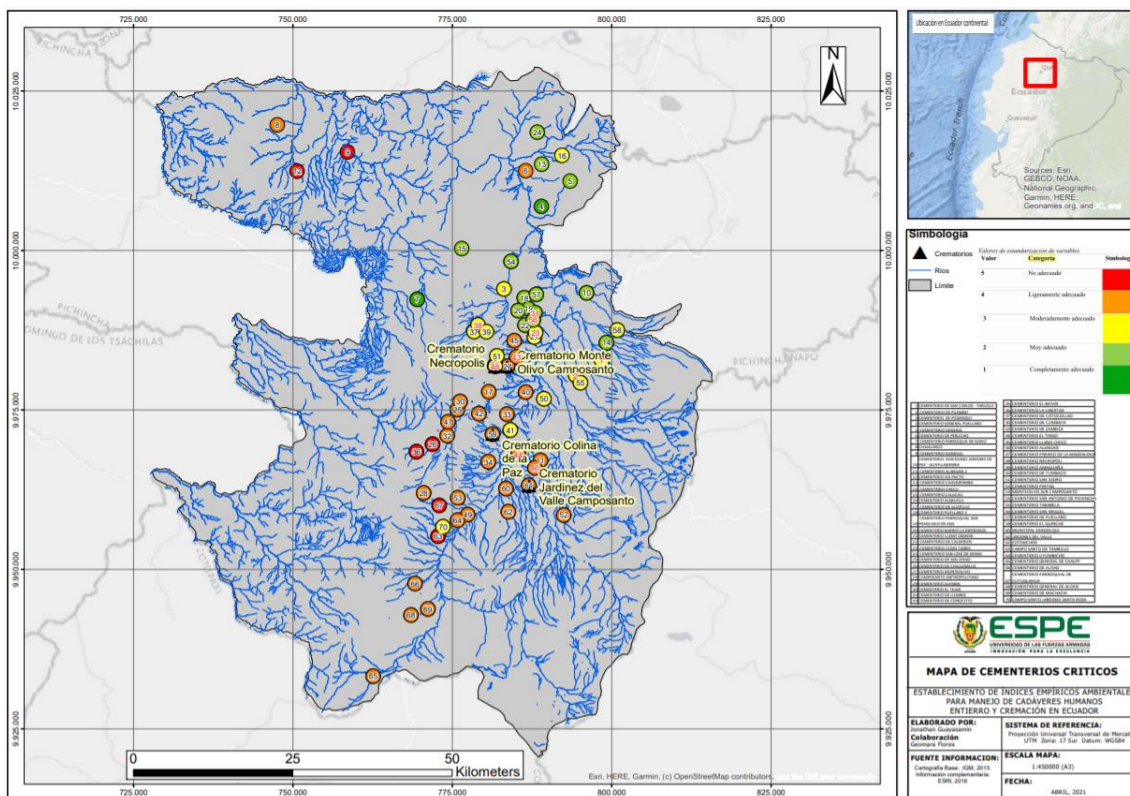
De acuerdo con la información levantada en escritorio como en campo y con el cálculo de consistencia determinado para el tamaño de muestra en cementerios, se procedió a sumar todas las variables consideradas en formato Raster, multiplicándolas por los valores de priorización obtenidos por medio de la Matriz de Saaty, mediante la herramienta Raster Calculator del Software Arcgis 10.5, de tal manera se obtuvo una nueva capa en el mismo formato, la cual permitió diferenciar por medio de la relación de todas las variables, las zonas que presentaron un mayor interés, diferenciándolas a través de colores como: Rojo= No adecuado, Naranja= Ligeramente Adecuado, Amarillo= Moderadamente Adecuado, Verde Claro= Muy Adecuado y Verde Oscuro= Totalmente Adecuado sebas, como se muestra en la figura 10.

Con esta herramienta, se determinó los cementerios, que presentaron un mayor grado de importancia en la investigación y discriminar los que no presentarían inconvenientes con los criterios seleccionados, dando un total de 33 cementerios preseleccionados.

Para el caso de crematorios se decidió trabajar con todo el universo, es decir, con un total de 4, que se presenta de igual forma en la figura 10.

Figura 10.

Cementerios y crematorios determinados



Posteriormente, de los cementerios que se encontraban clasificados como ligeramente adecuados (color naranja), se procedió a realizar un análisis pormenorizado del número tumbas de cada cementerio con el fin de descartar del universo, sitios en los cuales no se presentarían mayores riesgos de contaminación. Para esto se tomó el criterio establecido en la tabla 7 “Número de tumbas”, considerando el principio precautorio ambiental, para lo cual se abarcaron los cementerios que presentaban un número de tumbas catalogadas como “Moderadamente adecuado”, dando un total de 15 cementerios pre seleccionados, como se muestra en la tabla 14:

Tabla 14.*Cementerios pre seleccionados.*

Item	Cementerio	Año	No Tumbas	Categorización	Tipo	Zona
1	Cementerio Paraíso de la Magdalena	1906	5132	Ligeramente adecuado	Público	Eloy Alfaro
2	Cementerio Monteolivo	1994	50000	No adecuado	Privado	Eugenio Espejo
3	Cementerio Nanegal	1970	500	No adecuado	Público	La Delicia
4	Cementerio Alangasi	1972	8000	Ligeramente adecuado	Privado	Los Chillos
5	Cementerio Pintag	1958	8000	Ligeramente adecuado	Público	
6	Cementerio del Tejar	1795	8189	Ligeramente adecuado	Público	Manuela
7	Cementerio San Diego	1872	51606	Ligeramente adecuado	Privado	Sáenz
8	Cementerio de Chilligallo	1910	40000	No adecuado	Público	Quitumbe
9	Cementerio la Libertad	1994	130	No adecuado	Privado	
10	Camposanto Metropolitano	2010	10000	Ligeramente adecuado	Privado	
11	Monte Olivo Sur Campo Santo	1994	50000	Ligeramente adecuado	Privado	Mejía
12	Cementerio Parroquial de Cutuglagua	1973	10000	No adecuado	Público	
13	Campo Santo Jardines Santa Rosa	2010	15000	Ligeramente adecuado	Privado	Mejía
14	Cementerio de Aloag	1949	4000	Ligeramente adecuado	Público	
15	Cementerio de Machachi	1820	30000	Ligeramente adecuado	Público	

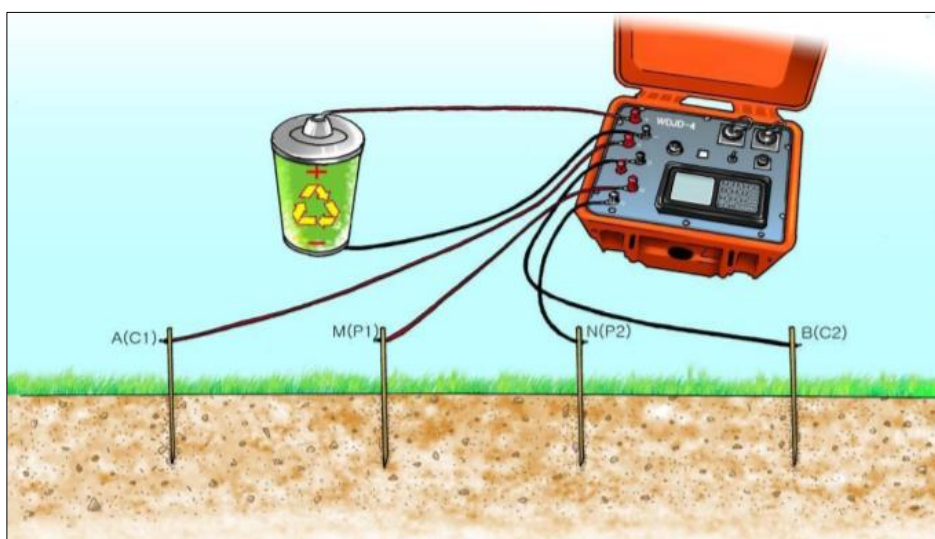
Determinación de los cementerios críticos

Para la determinación de los cementerios en los que se realizaron los análisis físico – químicos, se procedió a validar los resultados obtenidos del mapa generado del nivel piezométrico, midiendo en campo el nivel freático para los 15 cementerios preseleccionados que constan en la tabla 14.

Para la obtención de este parámetro se utilizó un equipo modelo WJD-4 Multi-function Digital DC Resistivity/IP Meter a través del método 4P-VES (Schlumberger). Los gráficos de los datos tomados fueron procesados a través del Software EarthImager 1D Versión 2.0.5 1D Resistivity Inversión Software.

Figura 11.

Determinación del nivel freático mediante el método Schlumberger



Nota. Recuperado de Chongqing Gold. 2018

Una vez realizados las mediciones del nivel freático mediante el método anteriormente descrito, se reemplazaron los valores obtenidos en la matriz de Saaty para los 15 cementerios pre seleccionados y se aplicó nuevamente el análisis de priorización y la herramienta Raster Calculator, dando como resultado un total de cuatro cementerios críticos, en los cuales se procedió a efectuar los análisis ambientales en laboratorio de OD, conductividad, pH, temperatura, DBO₅ y DQO

Determinación de las condiciones ambientales de cementerios y crematorios de la zona de estudio y valoración de parámetros físico químicos.

Para la determinación de contaminantes en los emplazamientos, se analizó la concentración de OD, DBO₅, DQO, pH, conductividad y temperatura, a través de un muestreo aleatorio simple de dos muestras antes y después de cada cementerio debido a las restricciones presupuestarias del proyecto.

Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ se realizó el ensayo por medio del laboratorio acreditado de Química Ambiental de la Universidad Central del Ecuador, con número de acreditación OAE LE 1C 04-002, a través del método de ensayo MAM-38/ APHA 5210 B Modificado, mientras que para la determinación de la demanda química de oxígeno DQO el ensayo fue realizado en el mismo laboratorio, a través del método de ensayo MAM-23A/ Merck 112, 28, 29, 132 Modificado.

En el caso de la determinación de la concentración del oxígeno disuelto (OD), porcentaje de saturación (% sat) y temperatura (T), se utilizó un equipo multiparamétrico Hach modelo HQ40d, acoplado con una sonda de LDO de la misma marca, modelo LDO101, como se muestra en la figura 12, y una muestra compuesta, obtenida al mezclar dos muestras simples tomadas previamente. Los parámetros indicados se los midió agua arriba (antes del cementerio) y aguas abajo (después del cementerio).

Figura 12.

Multiparamétrico Hach y sonda de LDO



Para el análisis de conductividad se utilizó un equipo multiparamétrico Hach model HQ40d, acoplado con una sonda de conductividad de la misma marca, modelo CDC401, como se muestra en la figura 13, por medio de muestreo compuesto aguas arriba y agua abajo del cementerio.

Figura 13.

Multiparamétrico Hach y sonda de Conductividad



Para el potencial de hidrógeno (pH), se utilizó un equipo multiparamétrico Hach modelo HQ40d, acoplado con una sonda de conductividad de la misma marca, modelo PHC101, como se muestra en la figura 14, por medio de muestreo compuesto aguas arriba y agua abajo del cementerio.

Figura 14.

Multiparamétrico Hach y sonda de pH



En el caso de los crematorios, para la determinación de particulado sedimentable se utilizó el método determinado en el acuerdo ministerial 097 A-Anexo 4; que indica el uso de un recipiente para captación de partículas sedimentables, elaborados de forma casera, los cuales y según la metodología de Marcos, Cabrera, Laos, Mamani y Valderrama, 2010, fueron instalados en cada crematorio con relación a la dirección del viento durante un mes, como se muestra en la figura 15, colocándose un total de 8 recipientes (2 por crematorio) con un diámetro de 16 cm y una longitud de 20 cm, instalados a una altura de 3 m por encima del suelo y provistos de filtros de microfibras de cuarzo QMA de 15 cm de diámetro, Marca Ahlstrom para la retención de sólidos sedimentables.

Figura 15.

Instalación de recipientes para Material Particulado



Luego de la recolección de los recipientes se procedió a la determinación del material particulado sedimentable a través del análisis de la materia soluble e insoluble realizado en el laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Tierra de la Universidad de las Fuerzas Armadas, para la determinación del material insoluble se utilizó el método gravimétrico 502 “*Methods of Air Sampling and Analysis, 3rd. Edition, Intersociety Committe, Lewis Publishers, Inc. 1988*” (AM 097-A, 2015), con relación al material soluble se efectuó el análisis de la conductividad del líquido filtrado mediante el equipo multiparamétrico HACH HQ40d y posteriormente mediante el software provisto en la página de Lenntech se obtuvieron los valores de los sólidos totales disueltos los cuales fueron transformados a peso considerando el volumen total recolectado, para la determinación de la concentración de las partículas sedimentales se utilizó las ecuaciones 4 y 5 (Quezada, 2020):

- Co: Concentración Observada

$$C_o = \frac{\text{Peso Material Insoluble} + \text{Peso Material Soluble}}{\pi * \text{Radio Filtro}^2} = \left[\frac{\text{mg}}{\text{cm}^2 * 30 \text{ días}} \right] \quad (4)$$

- Cc: Concentración Corregida

$$C_c = \frac{C_o * 760 \text{ mm Hg}}{\text{Presión atmosférica del sitio en mm Hg}} * \frac{\text{Temperatura local en } ^\circ K}{298 \text{ } ^\circ K} \quad (5)$$

Determinación de Índices de Gestión Ambiental y propuesta técnica.

Índices de Gestión Ambiental

Para la formulación de los índices se siguió la metodología basada en Saaty, tomando en consideración que en el numeral 3.1 y 3.2 ya se determinaron las condiciones ambientales y geográficas que podrían influir en la velocidad de descomposición cadavérica en las cuales, de conformidad a revisión bibliográfica y de acuerdo a un panel de expertos, se establecieron los rangos de afectación de cada una de las variables que pueden influir en el medio, mismas que fueron categorizadas según la tabla 7 con una escala de valores de 1 al 5 que va desde “Completamente Adecuado = 1” hasta “No Adecuado = 5”.

Posteriormente, para la determinación de los cementerios adecuados y no adecuados, de acuerdo con la tabla 7 se trabajó con un total de 10 variables, las cuales fueron sometidas a un proceso de jerarquización, obteniendo una relación de variables cualitativas y cuantitativas para establecer grados de priorización de cada una de estas.

Propuesta técnica para la ubicación de sitios destinados en la disposición de cadáveres humanos

Para la determinación de la propuesta técnica se consideró abarcar los criterios establecidos tanto en la matriz de prioridades generada a través de Satty, con los pesos obtenidos de un total de 10 variables de conformidad a la tabla 10, como en los rangos de estandarización de variables obtenidos en la tabla 7, relacionando estos dos parámetros en un solo análisis. Generando así, rangos de ubicación en los cuales se presentarían las condiciones más y menos idóneas para situar un lugar de establecimiento para la disposición de cadáveres humanos y cuales serían los factores más críticos a los que se debería dar hincapié.

CAPÍTULO IV

Resultados y Discusión de Resultados

Análisis de los 15 cementerios pre seleccionados

De los 15 cementerios pre seleccionados y mediante la medición del nivel freático en campo y del análisis de variable distancia a cuerpo de agua se desprendieron los siguientes resultados:

Cementerio de Nanegal

Siendo que la resistencia se define como la oposición al paso de la corriente eléctrica, en la figura 16 se puede observar su relación en función de la profundidad.

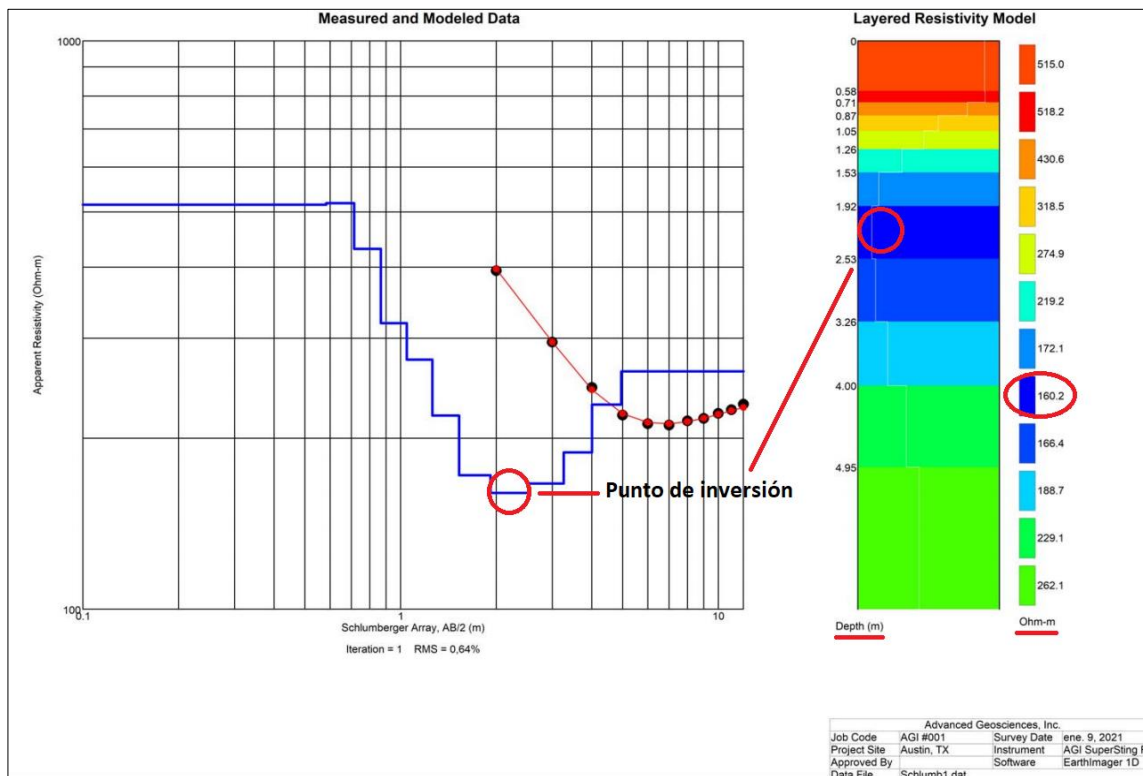
En esta figura los puntos rojos indican el número de medidas tomadas en campo, la línea azul el modelo de resistencia ligado a la escala de colores que se encuentra a mano derecha, misma que relaciona los valores de este modelo y donde se localizaría el nivel freático con su profundidad respectiva, representado por su valor más bajo considerando el concepto de resistencia y conocido como punto de inversión, debido a la formación de una campana invertida, tal como se indica en la figura 16. Es así que para este cementerio se observó un punto de inversión de valor 160,2 Ohm-m en un rango 1,92 m a 2,53 m, lo que indicaría la presencia de nivel freático a esa profundidad.

Esto implica que el cementerio de Nanegal incumpliría con el artículo 15 del acuerdo ministerial 3523 del 2013, mismo que fue derogado con AM 192 del 2018, que dispone “Los cementerios se ubicarán en zonas seguras con un bajo nivel antrópico, en terrenos secos,

constituidos por materiales porosos en los cuáles la napa freática, estará como mínimo a 2.50 m. de profundidad”. Miller y Wiens, 2017, establecen que el transporte de contaminantes disminuye con la profundidad indicando menos presencia de bacterias por mililitro a distancias superiores a 2,5 m y una disminución en la concentración de la DQO a partir de una profundidad de 3,5 m, encontrándose dentro de los rangos de posible contaminación.

Figura 16.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Nanegal



El cuerpo de agua más cercano es el río Alambi a una distancia estimada de 134 metros y de acuerdo con el artículo 16 del acuerdo ministerial 3523, se establece que “el área destinada a sepulturas deberá estar situada como mínimo a doscientos (200) metros de distancia de aguas de

consumo y de ríos, manantiales o canales de riego abiertos”, de tal manera que incumpliría con este apartado. Zychowski, 2012, menciona que se produce una baja disminución en la concentración de iones contaminantes entre los 100 y 200 metros de distancia de los cementerios al cuerpo de agua, con un aumento en su disminución por encima de estos valores, lo que hace que este cementerio podría implicar un posible riesgo de contaminación al medio.

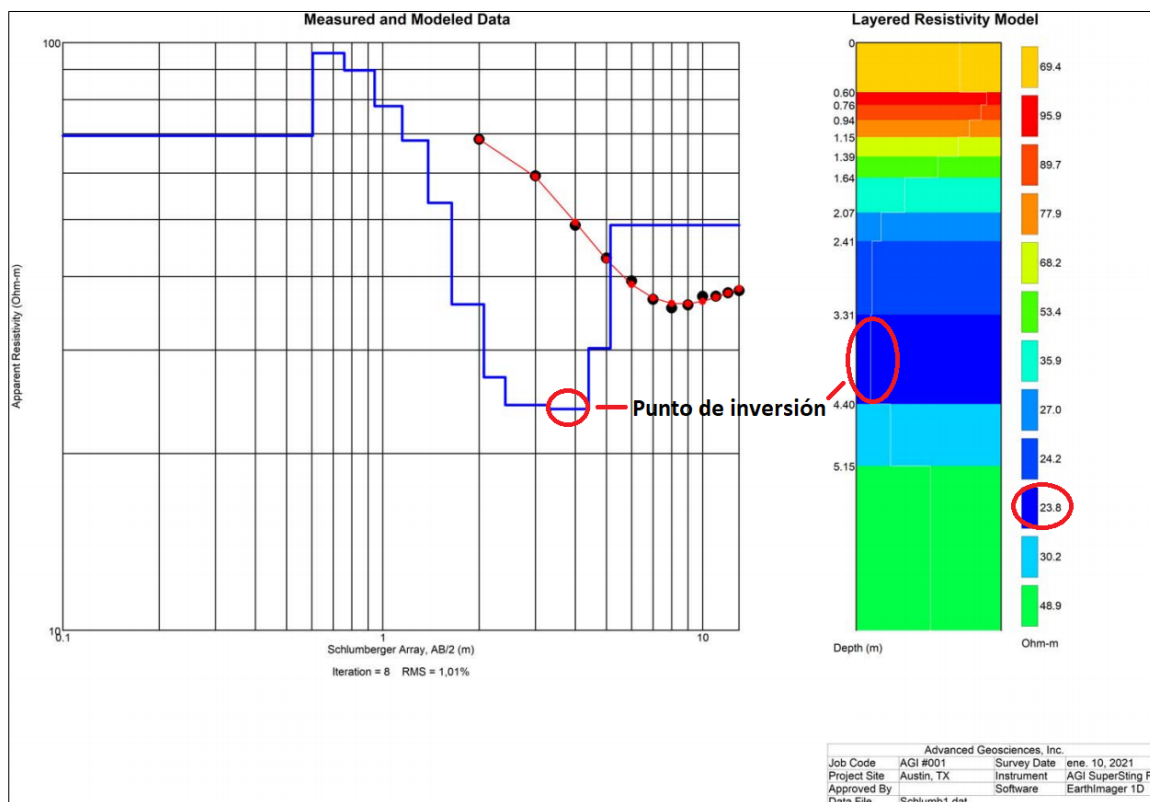
Cementerio de Pintag

Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 23,8 Ohm-m en un rango de 3,31 m a 4,40 m, indicando la presencia de nivel freático a esa profundidad, como se muestra en la figura 17. Por lo expuesto el cementerio de Pintag cumple con lo dispuesto en el artículo 15 del AM 3523 y se encuentra dentro del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada Calihuaycu a una distancia estimada de 171 metros, dentro del límite que dispone el AM 3523, por lo que, incumple con el artículo 16 de este acuerdo, y lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio podría implicar un posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 17.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Pintag

***Cementerio de Alangasi***

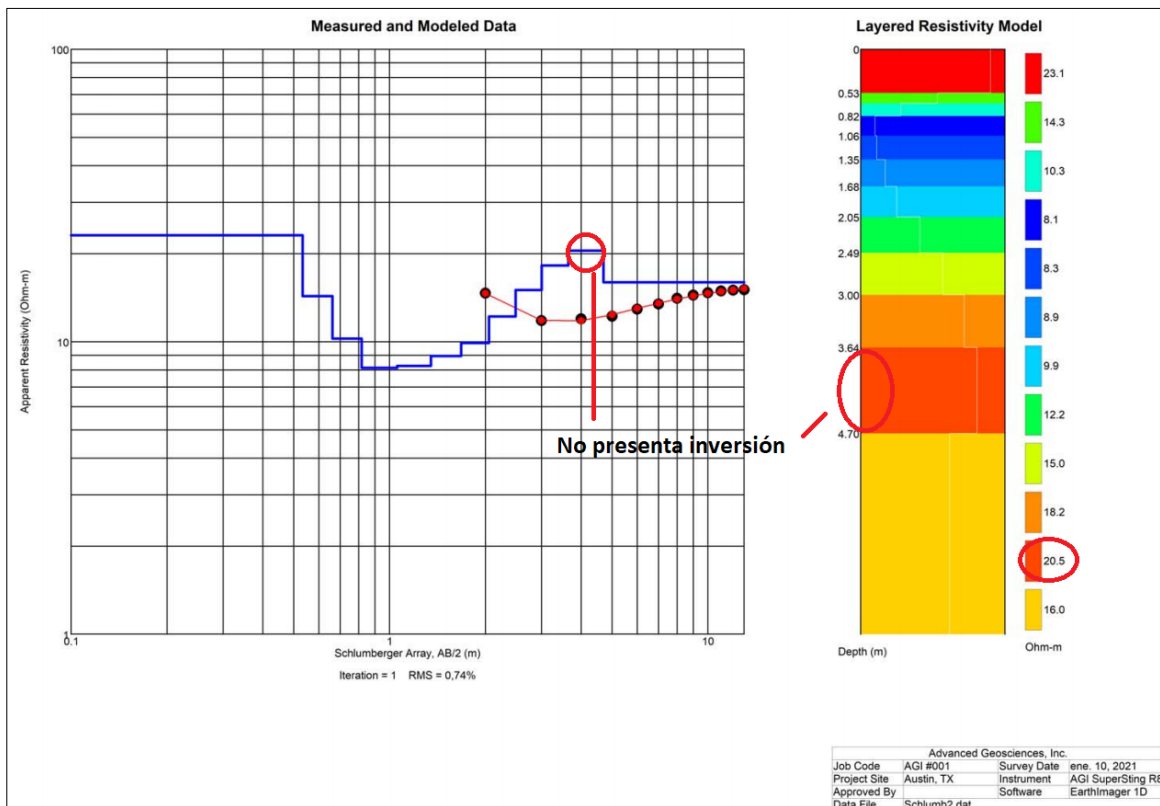
No presenta punto de inversión. El punto más alto de resistencia presenta un valor de 20,5 Ohm-m en una profundidad de 3,64 m a 4,70 m como se muestra en la figura 18, y los valores presentes de la gráfica se relacionarían con la presencia de agua de escorrentía cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es la quebrada Callehuaycu ubicada a una distancia estimada de 340 metros del cementerio, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado

por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 18.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Alangasi



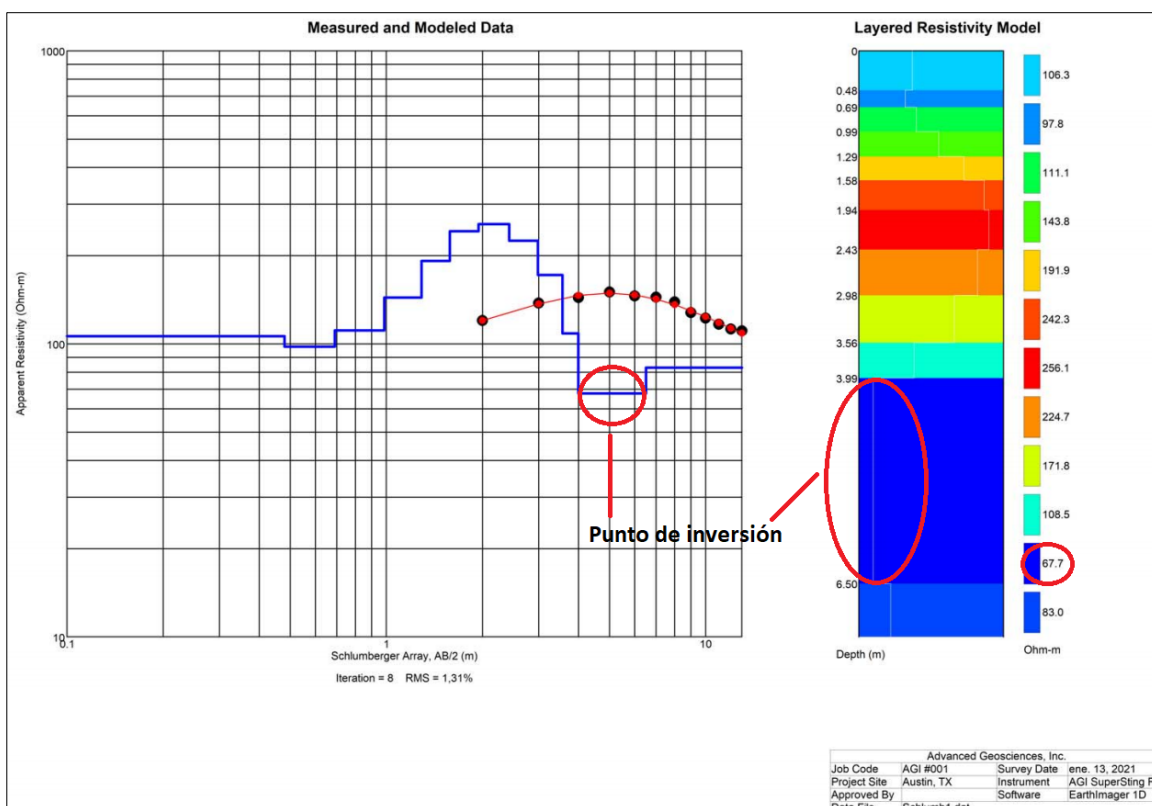
Cementerio de Aloag

Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 67,7 Ohm-m en un rango de 3,99 m a 6,50 m; indicando la presencia de nivel freático a esa profundidad como se indica en la figura 19, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada Guacayacu que está ubicada a una distancia estimada de 500 metros, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 19.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Aloag



Cementerio de Machachi

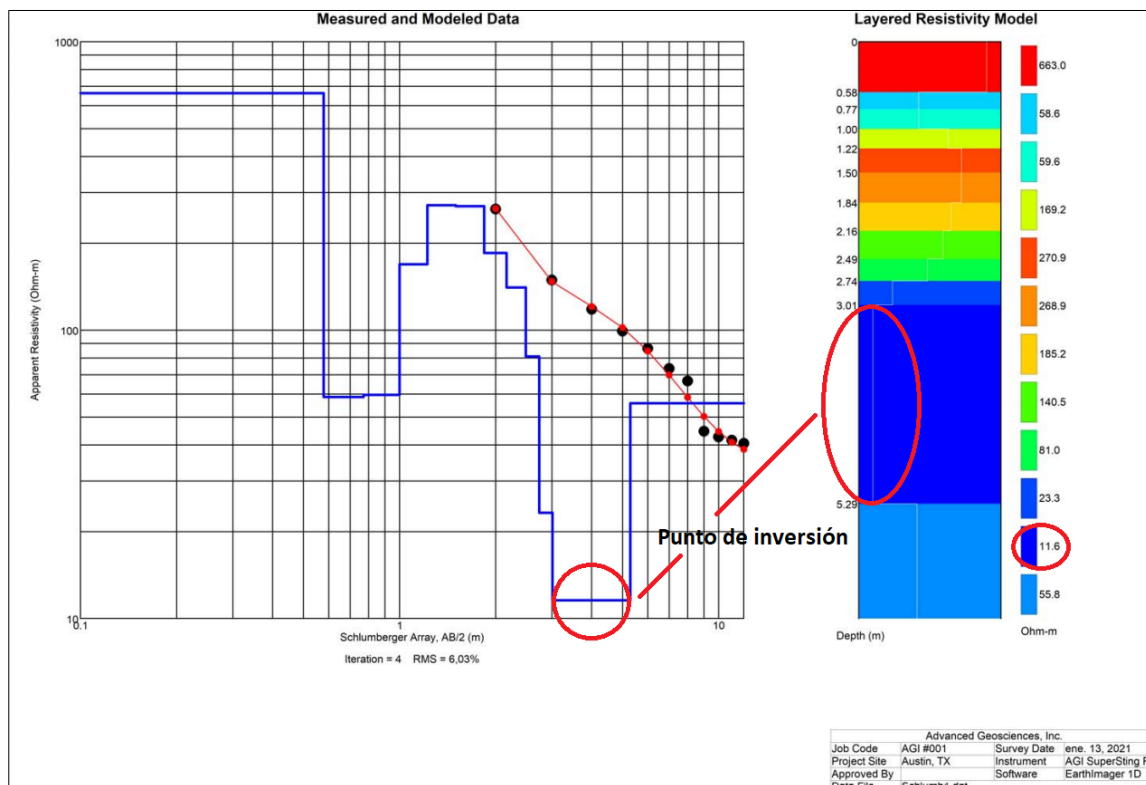
Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 11,6 Ohm-m con una profundidad de 3,01 m a 5,29 m, lo que indica la presencia de nivel freático a esa profundidad como se muestra en la figura 20, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523, sin embargo, se

encuentra parcialmente dentro del rango establecido por Miller y Wiens, 2017, por lo que, se podría presentar una leve contaminación por iones disueltos.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada el Timbo que se encuentra a una distancia estimada de 300 m, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 20.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Machachi



Cementerio Monteolivo Sur Campo Santo

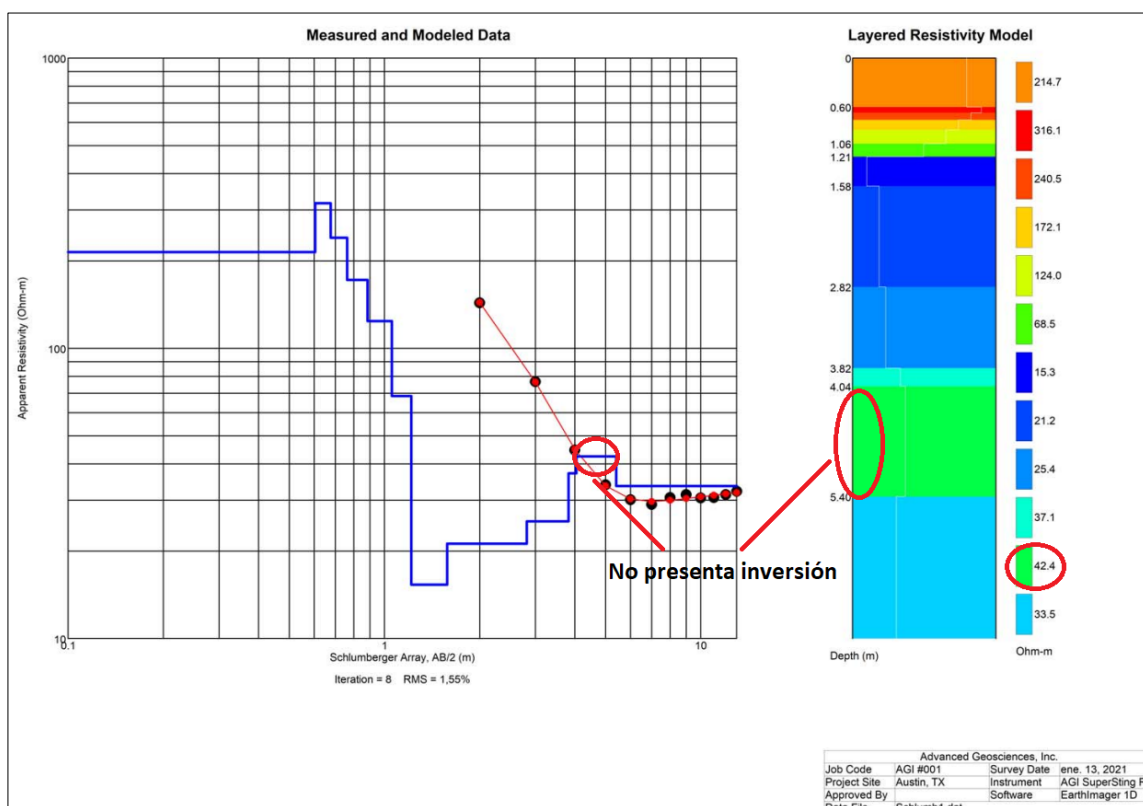
No presenta punto de inversión, el punto más alto de resistencia presenta un valor de 42,4 Ohm-m en un rango de 4,04 m a 5,40 m, lo que indica que el nivel freático se encuentra por debajo

de los 5,40 m de profundidad y los valores presentes de la gráfica se relacionarían con la presencia de agua de escorrentía como se muestra en la figura 21, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada Calicano que se encuentra a una distancia estimada de 1,5 km, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 21.

Resistencia vs Profundidad del Campo Santo Monteolivo Sur



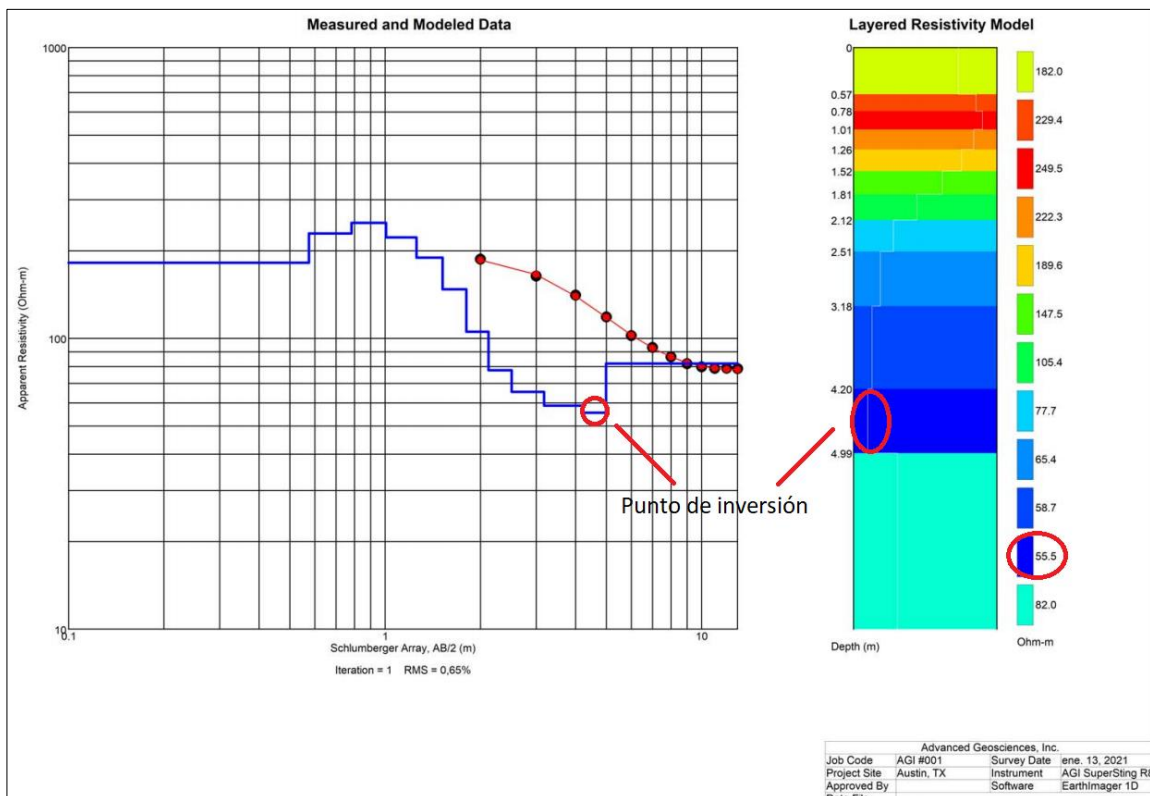
Campo Santo Jardines Santa Rosa

Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 55,5 Ohm-m en un rango de 4,20 m a 4,99 m, lo que indica la presencia de nivel freático a esa profundidad, como se muestra en la figura 22, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada Jalupana que se encuentra a una distancia estimada de 1,03 Km, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y muy por fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 22.

Resistencia vs Profundidad del Campo Santo Jardines Santa Rosa



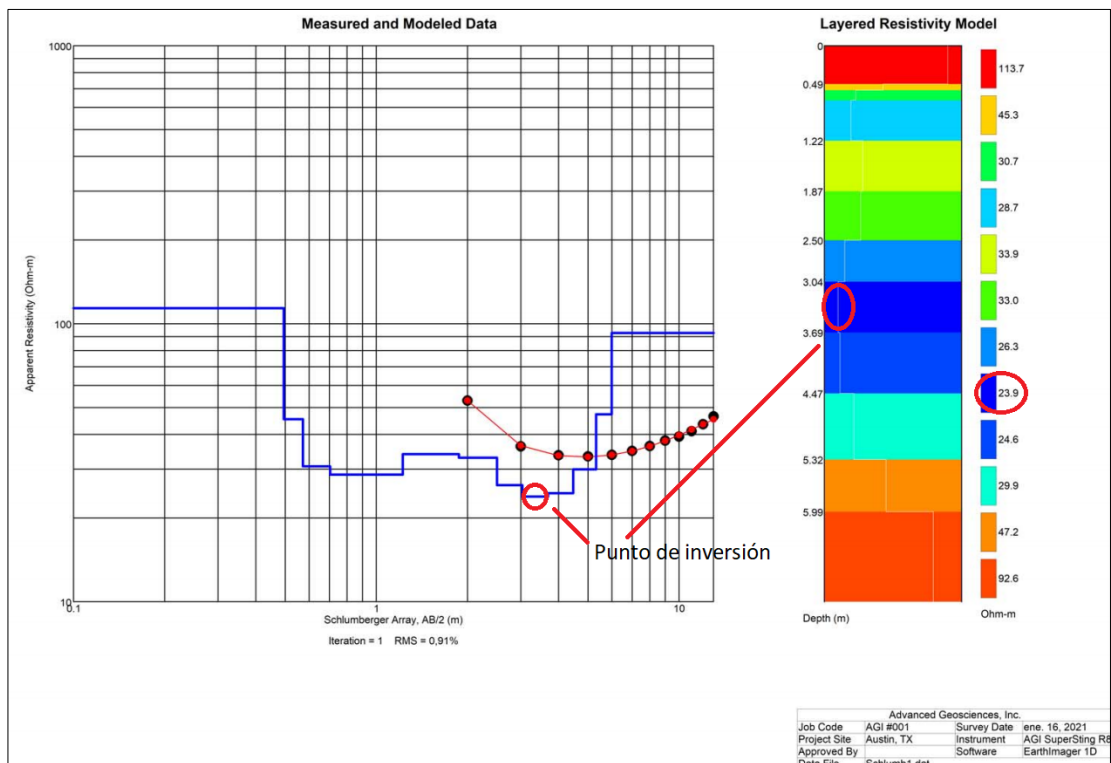
Cementerio Parroquial de Cutuglagua

Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 23,9 Ohm-m en un rango de 3,04 m a 3,69 m, lo que indica la presencia de nivel freático está a esa profundidad, como se muestra en la figura 23, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523, sin embargo, se encuentra dentro del rango establecido por Miller y Wiens, 2017, por lo que, se podría presentar contaminación por iones disueltos.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada Saguanchi que se encuentra a una distancia estimada de 58 metros, dentro del límite que dispone el AM 3523, por lo que, incumple con el artículo 16 de este acuerdo, y lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio podría implicar un posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 23.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio Parroquia de Cutuglagua



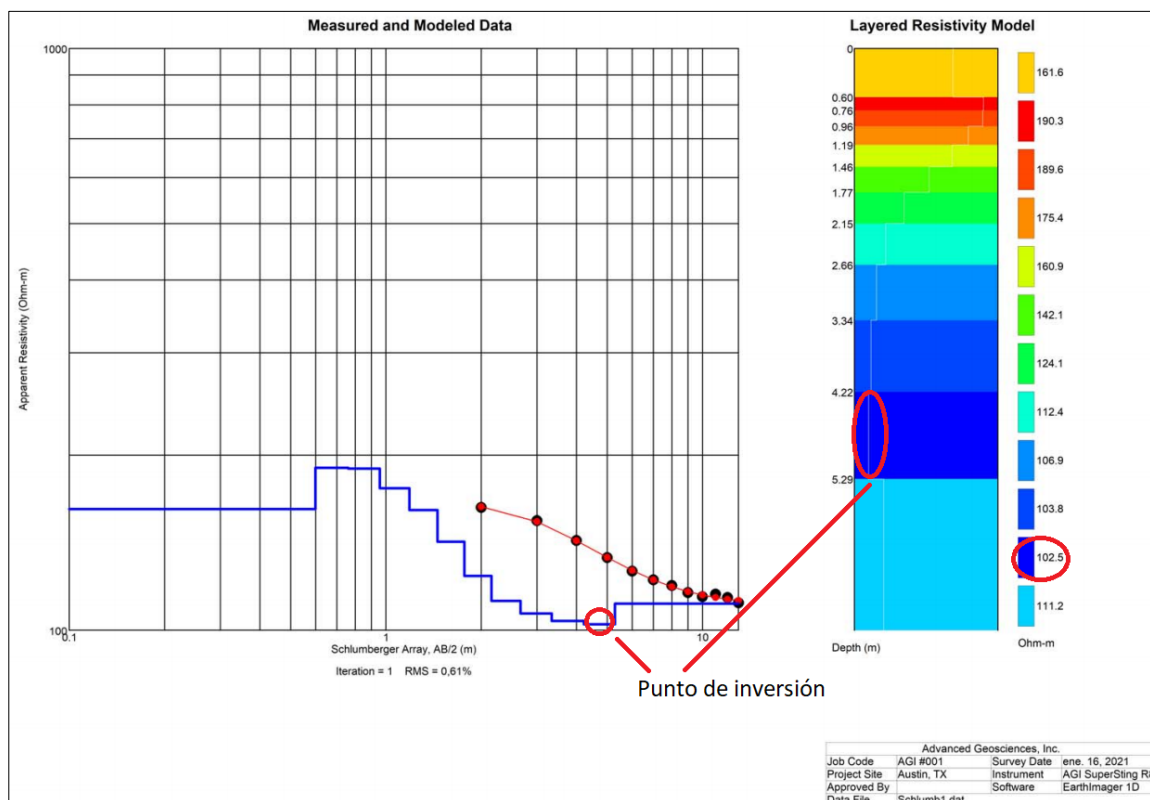
Campo Santo Metropolitano

Presenta el punto de inversión de resistencia a los 102,5 Ohm-m en un rango de 4,22 m a 5,29 m, lo que indica la presencia de nivel freático está a esa profundidad, como se muestra en la figura 24, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es la Quebrada Saguanchi que se encuentra a una distancia estimada de 1,3 Km, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 24.

Gráfico de Resistencia vs Profundidad del Campo Santo Metropolitano



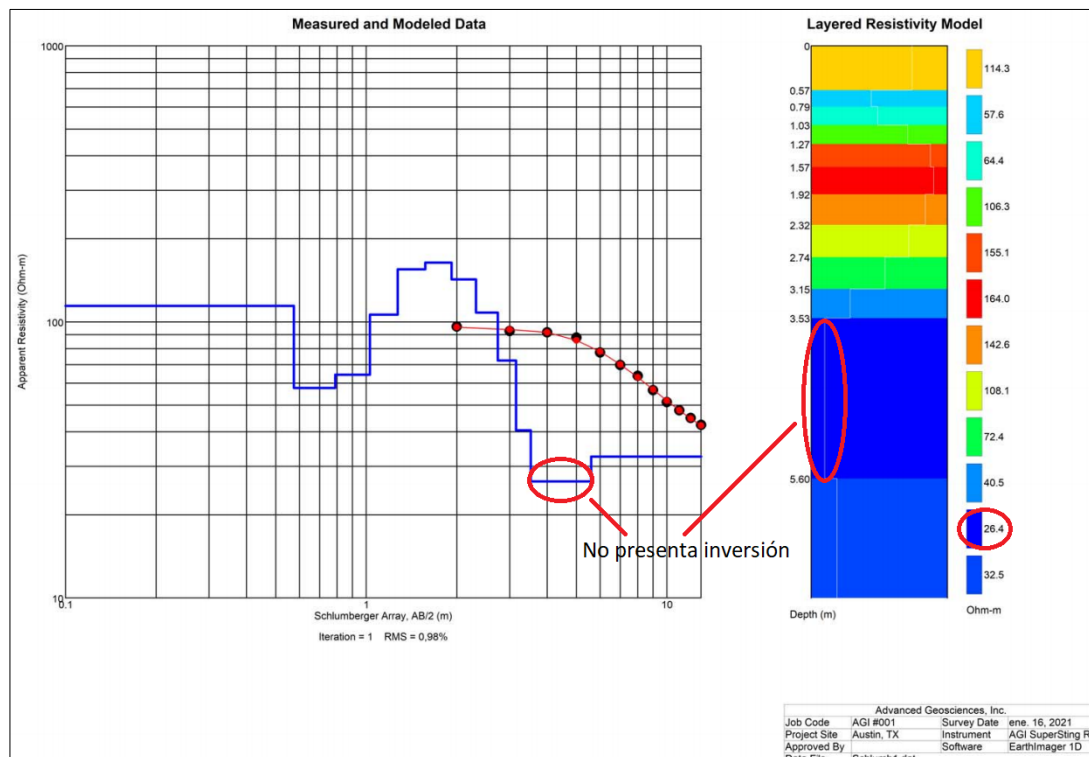
Cementerio de la Libertad

Presenta el punto de inversión de resistencia a los 26,4 Ohm-m en un rango de 3,53 m a 5,60 m lo que indica la presencia de nivel freático está a esa profundidad, como se puede ver en la figura 25, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y quedando parcialmente por fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017, por lo que, se podría presentar una leve contaminación por iones disueltos.

El cuerpo de agua más cercano es el Río Grande con una distancia estimada de 350 m, es decir fuera del rango de 200 m, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 25.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de la Libertad



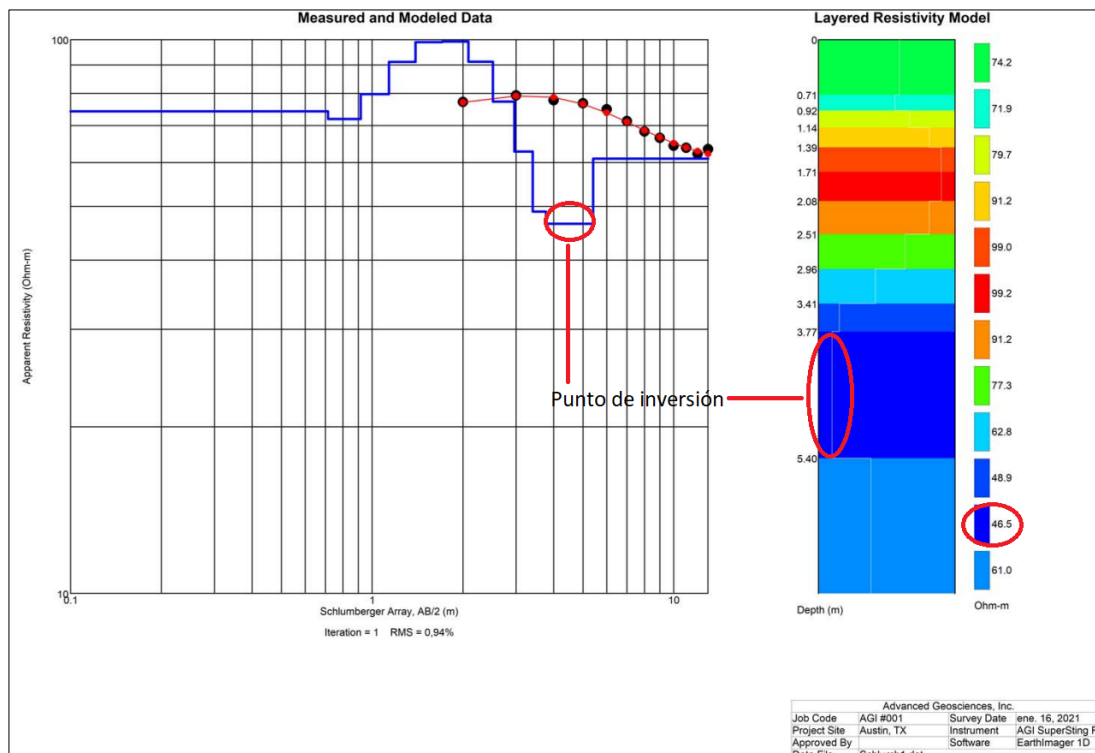
Cementerio de Chillogallo

Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 46,5 Ohm-m en un rango de 3,77 m a 5,40 m, lo que indica la presencia de nivel freático está a esa profundidad, como se observa en la figura 26, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y quedando parcialmente por fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017, por lo que, se podría presentar una leve contaminación por iones disueltos.

El cuerpo de agua más cercano es el Río Grande que se encuentra a una distancia estimada de 36 metros, dentro del límite que dispone el AM 3523, por lo que, incumple con el artículo 16 de este acuerdo, y lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio podría implicar un posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 26.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Chillogallo



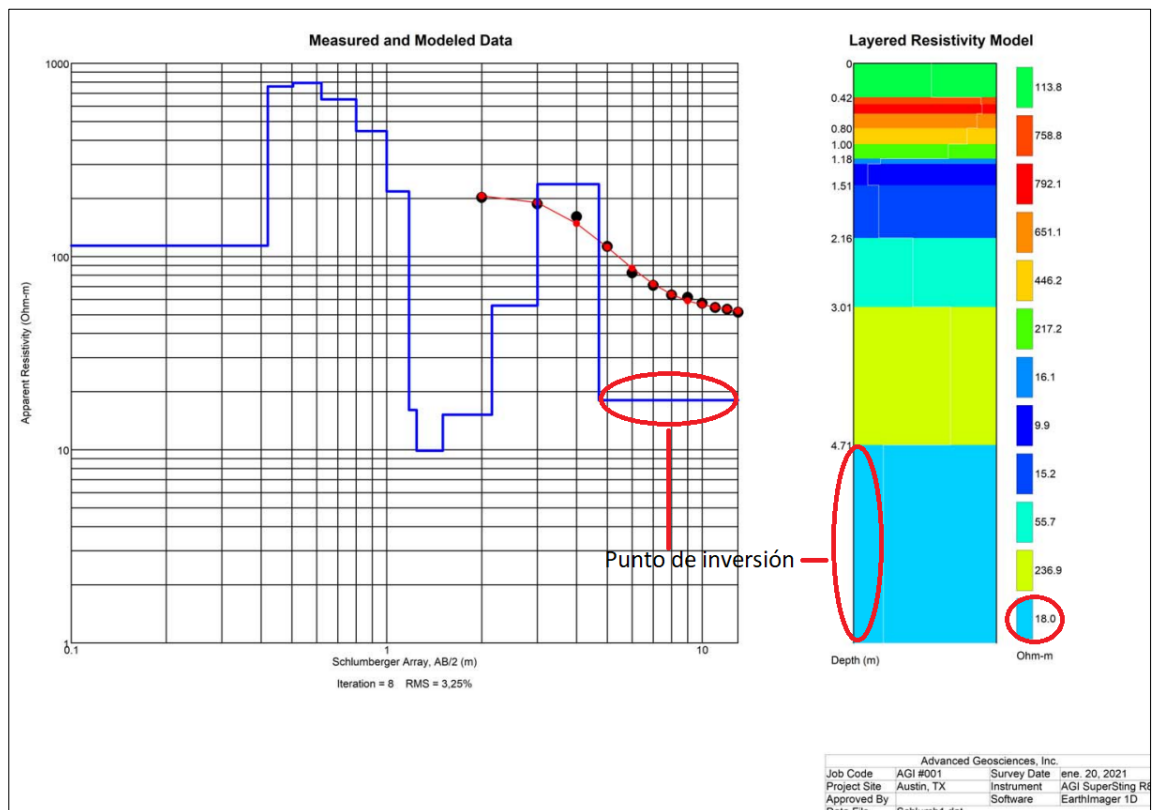
Cementerio de Monte Olivo Norte

Presenta el punto de inversión de resistencia más bajo a los 18 Ohm-m con una profundidad inferior a los 4,71 m, lo que indica la presencia de nivel freático está a esa profundidad, como se observa en la figura 27, cumpliendo con lo establecido en el artículo 15 del AM 3523 y fuera del rango establecido por Miller y Wiens, 2017.

El cuerpo de agua más cercano es el río Jatunhuaycu ubicado a una distancia estimada de 201 m, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, lo que hace que este cementerio disminuya el posible riesgo de contaminación al medio.

Figura 27.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de Monteolivo Norte



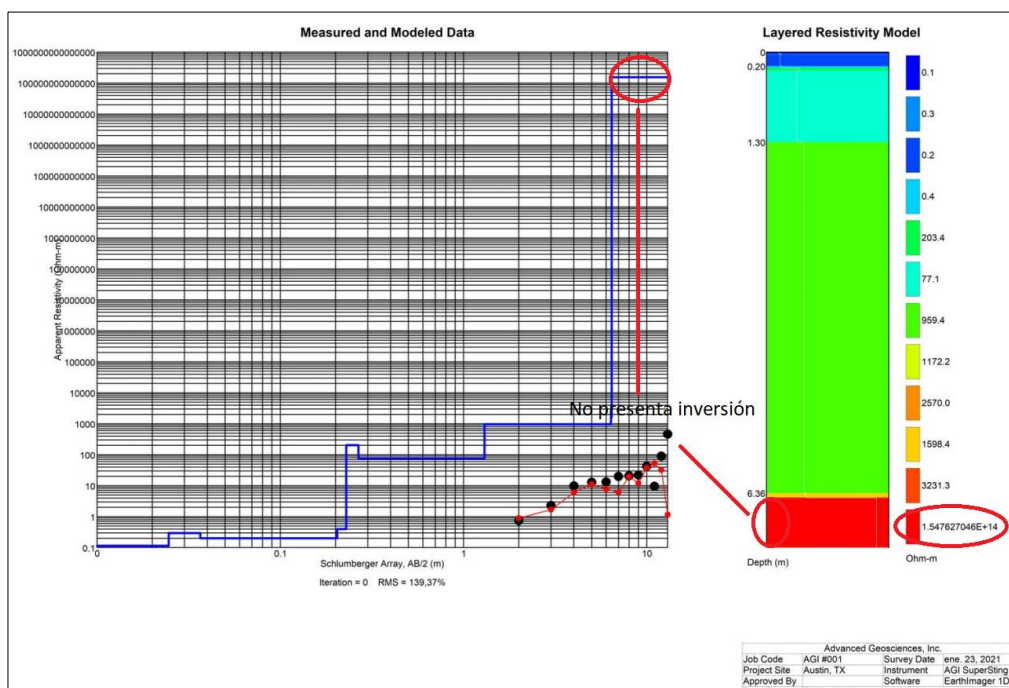
Cementerio del Tejar

No presenta punto de inversión de resistencia. Los valores obtenidos sobrepasan los $1,54 \times 10^{14}$ Ohm-m a una profundidad por debajo de los 6,36 m como se muestra en la figura 28, lo que indica la presencia de interferencias que limitaron la determinación del nivel freático de este cementerio, debido a que la mayor parte del centro histórico y el resto del Quito urbano actual fue un terreno agrietado, lleno de grandes quebrabas (La Hora, 2009), las cuales fueron rellanadas y pueden ser las causas de la presencia de esta anomalía.

El cuerpo de agua más cercano es el río Machángara con una distancia de 2 km, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y muy por fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, motivo por el cual, se determinó que se necesitan otro tipo de estudios para determinar su influencia en el medio.

Figura 28.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio del Tejar



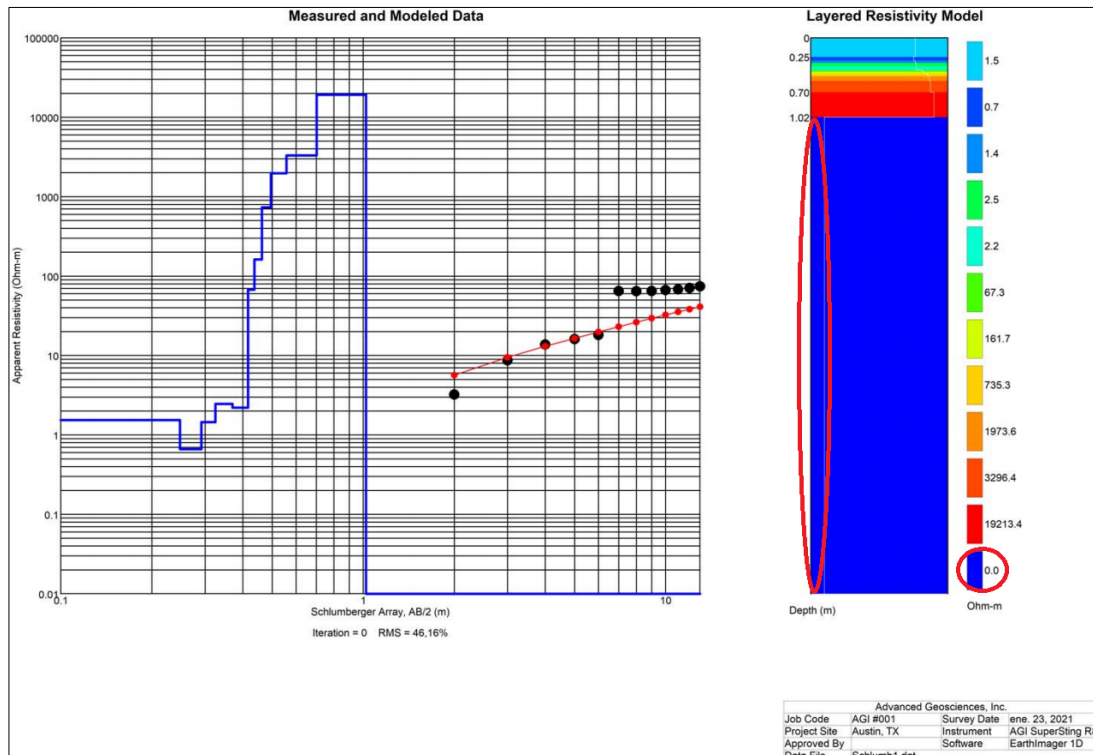
Cementerio de San Diego

Los resultados obtenidos indican que se presenta una resistencia de 0 ohm-m a una profundidad de 1,02 m como se muestra en la figura 29, lo que indica nuevamente la presencia de interferencias que limitaron la determinación del nivel freático de este cementerio, debido a los rellenos realizados en estas zonas (La Hora, 2009), a las cuales se les puede atribuir la presencia de esta anomalía.

El cuerpo de agua más cercano es el río Machángara con una distancia de 1,2 km, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y muy por fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, motivo por el cual, se determinó que se necesitan otro tipo de estudios para determinar su influencia en el medio.

Figura 29.

Resistencia vs Profundidad del Cementerio de San Diego



Cementerio de la Magdalena

No se pudo determinar el gráfico de resistencia vs profundidad en este cementerio por las interferencias presentadas en la zona, debido a los rellenos realizados en estos sitios (La Hora, 2009), a los cuales se les puede atribuir la presencia de esta anomalía.

El cuerpo de agua más cercano es el río Machángara con una distancia de 1,5 km, cumpliendo con el artículo 16 del AM 3523 y muy por fuera de lo señalado por Zychowski, 2012, motivo por el cual, se determinó que se necesitan otro tipo de estudios para determinar su influencia en el medio.

En la tabla 16 se resumen los datos obtenidos de resistividad relacionados a la presencia de nivel freático y la distancia a cuerpo de agua respectiva.

Tabla 16.

Nivel freático y distancia a fuentes de agua para los Cementerios pre seleccionados.

Item	Cementerio	Resistividad (Ohm-m)	Nivel Freático (m)	Distancia a cuerpo de agua (m)
1	Nanegal	160,2	1,92 - 2,53	134
2	Pintag	23,8	3,31 - 4,40	171
3	Alangasi	20,5	3,64 - 4,70	340
4	Aloag	67,7	3,99 - 6.50	500
5	Machachi	11,6	3,01 - 5,29	300
6	Monteolivo Sur	42,4	4,04 - 5,40	1500

7	Jardines Santa Rosa	55,5	4,20 - 4,99	1030
8	Cutuglagua	23,9	3,04 - 3,69	58
9	Metropolitano	102,5	4,22 - 5,29	1300
10	Libertad	26,4	3,53 - 5,60	350
11	Chillogallo	46,5	3,77 - 5,40	36
12	Monte Olivo Norte	18	< 4,71	201
13	Tejar	1,54 Exp14	< 6,31	2000
14	San Diego	-	-	1200
15	Magdalena	-	-	1500

Por medio de esta pre selección se permitió generar una inter relación de todos los factores críticos considerados para este estudio de investigación, lo que facilitó y automatizó la determinación de los cementerios con mayores riesgos de contaminación y por lo tanto enfoco la investigación en las zonas más relevantes.

De la tabla 16 se pudo determinar que el cementerio que presentaría una mayor probabilidad de contaminación hacia las napas subterráneas es el cementerio de Nanegal, mientras que los cementerios con riesgos de afectación hacia aguas superficiales son los de Nanegal, Pintag, Cutuglagua y Chillogallo (Zychowski, 2012; Miller y Wiens, 2017).

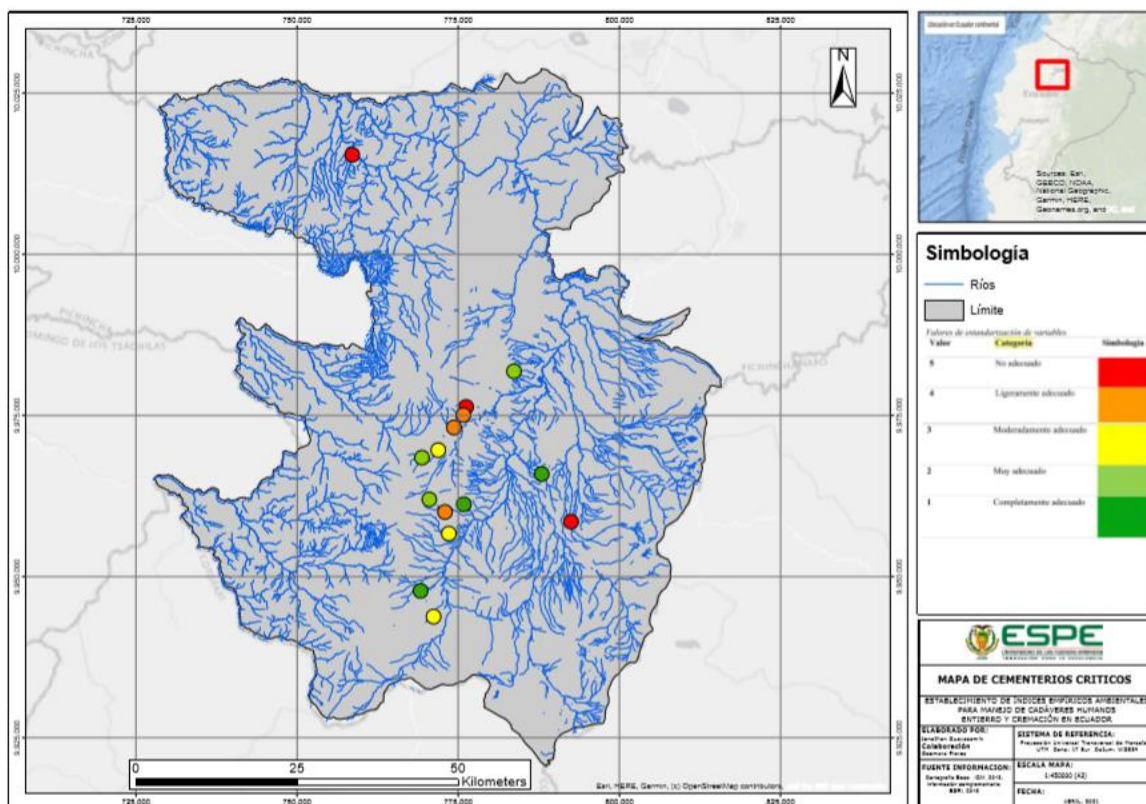
Cementerios Críticos Determinados

Del análisis multicriterio al reemplazar el valor obtenido de nivel freático por el nivel piezométrico en la matriz de Satty y aplicar nuevamente el análisis de priorización y la herramienta Raster Calculator se obtuvieron los resultados que se muestran en la figura 30.

A partir de la determinación del nivel freático por medio del método 4P-VES (Schlumberger), se logró obtener datos en campo relevantes para la investigación, lo que, sumado a la relación con la cercanía a fuentes de agua, consigné la identificación de los cementerios que presentan una mayor probabilidad de generar impactos negativos al medio

Figura 30.

Cementerios críticos



De lo expuesto, los cementerios del Tejar, la Magdalena y San Diego ubicados en el centro del cantón Quito fueron descartados del estudio, debido a su geografía y a zonas de relleno que generaron interferencias en la medición del nivel freático, por lo tanto, fueron excluidos del estudio. Esto considerando que el Río Machángara, cuerpo de agua en común que comparten estos tres cementerios, se encuentra ubicado a una distancia superior a 1 Km y a la alta carga contaminante de origen antropogénico que posee el mismo, lo que determinó que necesitan otro tipo de estudios.

Respecto a los cementerios de Santa Rosa y Machachi de igual forma se descartaron debido a que se encontraban con distancias a fuentes de aguas más cercanas de 1,03 Km y 300 metros respectivamente, fuera del rango establecido en los estudios presentados por Zychowski, 2012, lo que impediría determinar su influencia en el medio.

Por lo que, del análisis obtenido tanto del nivel freático como de la distancia a fuentes de agua, se obtuvieron finalmente 4 cementerios críticos que se detalla en la tabla 17.

Tabla 17.

Cementerios críticos determinados.

Item	Cementerio	Cuerpo de Agua	Nivel Freático	Distancia	Categorización	Cantón
1	Nanegal	Río Alambi	1,92 - 2,53 m	134 m	No adecuado	Quito
2	Pintag	Quebrada Calihuaycu	3,31 - 4,40 m	171 m	No adecuado	

3	Chillogallo	Río Grande	3,77 - 5,40 m	36 m	Moderadamente adecuado	
4	Cutuglagua	Quebrada Saguanchi	3,04 - 3,69	58 m	Ligeramente adecuado	Mejía

Análisis físico químicos de cementerios críticos

Análisis de Potencial de Hidrógeno.

Durante el proceso de putrefacción de los cadáveres la temperatura representa un papel fundamental en su aceleración. En los estudios llevados a cabo por Carter, 2005, se demostró que un incremento de 10°C prolifera la descomposición de tejido muscular, este fenómeno fue asociado con un aumento en la evolución del CO₂, biomasa microbiana, qCO₂ y el pH del suelo, lo que podría influenciar en el pH de fuentes de aguas cercanas.

En la tabla 18 se muestran los resultados derivados de la medición del pH en campo aguas arriba y aguas abajo para los cementerios seleccionados.

Tabla 18.

Análisis de pH en agua de los cementerios críticos determinados.

Cementerio	Fuente	Posición	Fecha	hora	pH	T °C	pH (LMP)
Nanegal	Río Alambi	Aguas arriba	21/2/2021	9:40	6,86	19,04	6-9
		Aguas abajo	21/2/2021	11:10	7,01	20,6	6-9
Chillogallo	Río Grande	Aguas arriba	20/2/2021	9:20	7,40	16,7	6-9
		Aguas abajo	20/2/2021	9:40	7,69	16,8	6-9
Cutuglagua		Aguas arriba	20/2/2021	11:20	6,87	16,5	6-9

	Quebrada Sanguanchi	Aguas abajo	20/2/2021	11:50	7,11	18,0	6-9
Pintag	Quebrada	Aguas arriba	20/2/2021	14:20	7,02	18,6	6-9
	Calihuaycu	Aguas abajo	20/2/2021	14:30	7,56	20,7	6-9

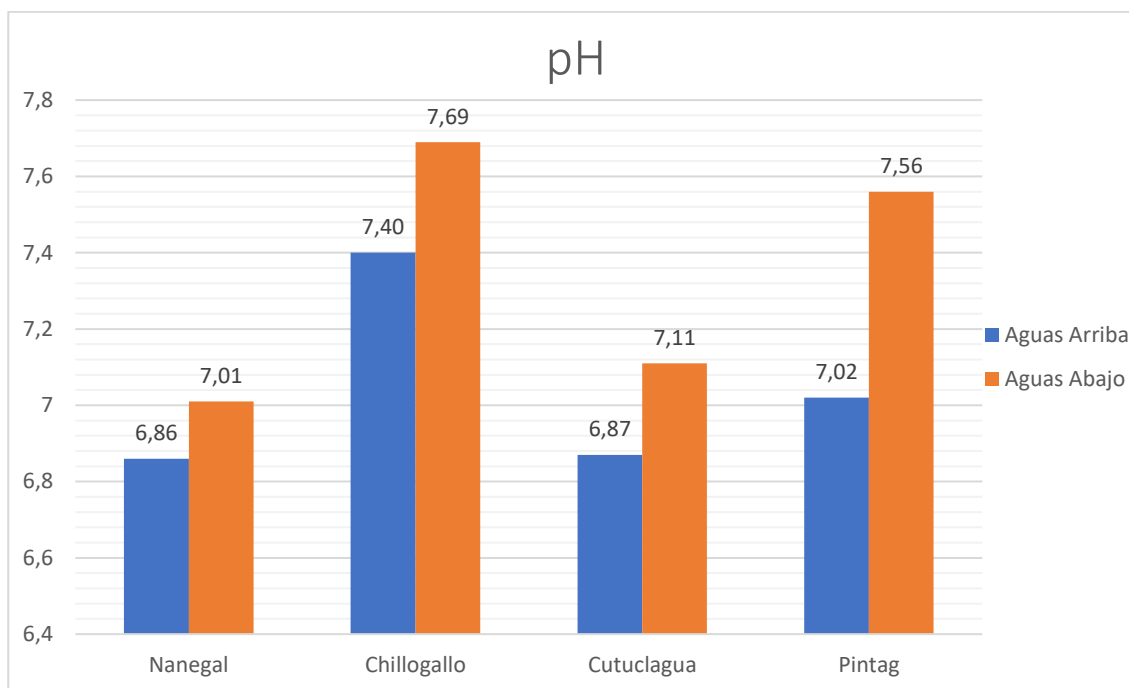
LMP= Límite máximo permisible según AM 097-A

Velez et al, 2019, hace referencia a que las propiedades químicas de los suelos dependen de las condiciones físico químicas a las que se encuentran sometidos los mismos. El nivel freático de los cementerios críticos ronda alrededor de los 3 metros de profundidad, además que las muestras obtenidas fueron tomadas en época lluviosa, por lo que hubo un mayor nivel de escorrentía, pluviosidad, e infiltración, que incidiría en un incremento del pH entre el 2 al 8% en las muestras tomadas después del cementerio, como se muestra en la figura 31, de igual forma se evidencia un incremento de la temperatura.

En los estudios llevados a cabo por Fineza et al, 2014, se registraron rangos de pH entre 6.0 y 7.0 que se relacionan con los valores obtenidos en el estudio, además se encuentra dentro del rango del LMP para descarga a un cuerpo de agua dulce del AM 097A.

Figura 31.

Variación del pH en los cementerios críticos



Análisis de la conductividad.

Los lixiviados liberados producto de la descomposición del cuerpo humano contienen un 60% de agua, 30% de sales en forma de iones tales como N, P, Cl, HCO₃, Ca²⁺, Na⁺ y 10% de materia orgánica, este líquido se caracteriza por presentar altos valores de conductividad (Zychowski, 2012).

En la tabla 19 se muestran los resultados derivados de la medición de conductividad del agua superficial en campo para los cementerios seleccionados.

Tabla 19.*Análisis de la conductividad en agua de los cementerios críticos*

Cementerio	Fuente	Posición	Fecha	hora	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Nanegal	Río Alambi	Aguas arriba	21/2/2021	9:40	73,9
		Aguas abajo	21/2/2021	11:10	71,1
Chillogallo	Río Grande	Aguas arriba	20/2/2021	9:20	399
		Aguas abajo	20/2/2021	9:40	962
Cutuglagua	Quebrada	Aguas arriba	20/2/2021	11:20	273
	Sanguanchi	Aguas abajo	20/2/2021	11:50	283
Pintag	Quebrada	Aguas arriba	20/2/2021	14:20	240
	Calihuaycu	Aguas abajo	20/2/2021	14:30	219,8

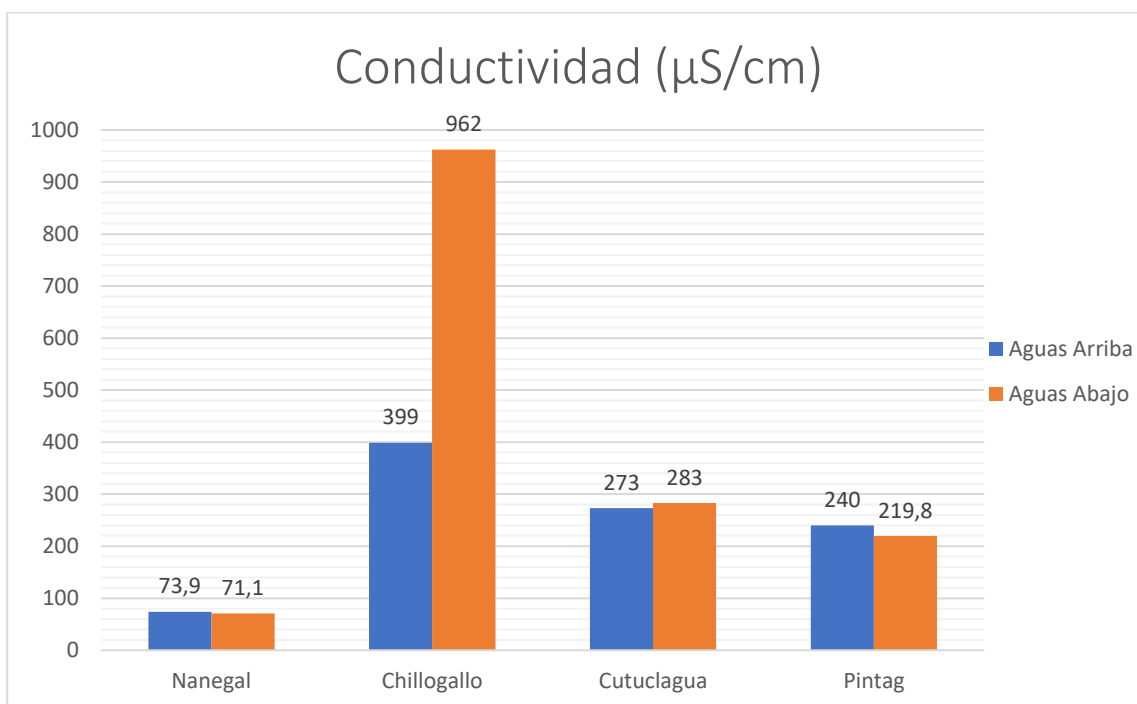
Los estudios realizados respecto a este parámetro indican mediciones altas de conductividad alrededor de los 2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cementerios en Australia muestran conductividades entre 200 y 740 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y cementerios en Sudáfrica presentan concentraciones típicas entre 75 y 134 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Zychowski, 2012). Fineza et al, 2014, realiza un estudio en un cementerio ubicado al sureste de Brazil, en el cual se determinó que la conductividad en los puntos de monitoreo que se encontraban dentro del cementerio tenía valores entre 120 a 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que indican una baja salinidad, mientras el punto que se encontraba más abajo, pero en dirección del flujo contenía valores entre 770 a 1380 $\mu\text{S}/\text{cm}$ indicando una alta salinidad.

La conductividad medida aguas abajo en los cementerios de Nanegal y de Pintag como indica la figura 32, señalan valores entre 71,1. $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 219,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que representan una disminución del 4% y el 8% respectivamente, relacionados a una baja en su salinidad, mientras que aguas abajo

de los cementerios de Cutuglagua y de Chillogallo se presentan valores de 283 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 962 $\mu\text{S}/\text{cm}$, produciendo un incremento de 4% y 141% respectivamente, lo que indica un exceso en su valor, mismo que puede estar relacionado con un aumento en la cantidad de iones disueltos como lo indica la bibliografía, sin embargo, en el caso de cementerios como el de Chillogallo, que se encuentran ubicados en zonas urbanas, podrían verse influenciados por otros factores naturales y de origen antropogénico (Zychowski, 2015).

Figura 32.

Variación de la conductividad en los cementerios críticos



Cabe señalar que cerca del cementerio de Chillogallo se encuentran negocios como clínicas dentales, mecánicas, lubricadoras, vulcanizadoras entre otros, además de salidas de alcantarillado aguas abajo del cementerio que podrían aportar al incremento de estos valores.

Análisis del Oxígeno Disuelto (OD).

El OD representa la cantidad de oxígeno disponible en el agua a una temperatura determinada y es considerado como un bioindicador de la calidad de agua debido a que el mismo afecta a una gran variedad de indicadores tanto físicos como biológicos (Lenntech, 2017). Este parámetro se encuentra relacionado a una serie de factores que pueden influir en la contaminación de cuerpos de agua tanto de orígenes naturales como antropogénicos.

En la tabla 20 se muestran los resultados derivados de la medición de OD in situ para los cementerios seleccionados.

Tabla 20.

Análisis del oxígeno disuelto en agua de los cementerios críticos.

Cementerio	Fuente	Posición	OD (mg/L)	T °C	% sat	OD (LMP)
Nanegal	Río Alambi	Aguas arriba	7,71	23	101,9	> 80%
		Aguas abajo	7,97	21,9	103	> 80%
Chillogallo	Río Grande	Aguas arriba	4,75	20,2	73,5	> 80%
		Aguas abajo	4,34	16	61,5	> 80%
Cutuglagua	Quebrada Sanguanchi	Aguas arriba	4,78	23,7	80,8	> 80%
		Aguas abajo	5,81	21	93,1	> 80%
Pintag	Quebrada Calihuaycu	Aguas arriba	6,70	20,9	105,4	> 80%
		Aguas abajo	6,53	21,7	104,5	> 80%

LMP= Límite máximo permisible según AM 097-A

Los límites máximos permisibles dispuestos en la tabla número 2 del Acuerdo Ministerial 097A del Ecuador, señalan que el OD debe contener un porcentaje >80% de la saturación. (AM 097A, 2015), por lo que el cementerio de Chillogallo no cumple con esta normativa, adicionalmente numerosos estudios científicos señalan que la cantidad mínima de OD que soportará una gran variedad de peces es alrededor de 5 partes por millón (ppm) (Lenntech, 2017), lo que evidenció una alta probabilidad de problemas de contaminación en los cementerios de Chillogallo como de Cutuglagua.

Zychowski, 2012, indica que los impactos ambientales que pueden tener los cementerios dependen enormemente de las condiciones a la que están expuestos, como sustratos, tipo de suelo, condiciones climáticas, nivel freático, entre otros, lo cual se relaciona con los cementerios de estudio ya que mantienen un nivel freático que está en el rango de 1,92 m a 3,77 m, además que presentan una cercanía a los cuerpos de agua en un rango de 36 metros a 171 metros, factores que pueden aumentar la probabilidad de contaminación en el cuerpo de agua más cercano.

Rodríguez, 2003, señala que en cementerios de un área de 125 m² se podría esperar una producción de 25 000 litros de lixiviado lo cual podría alterar las condiciones del medio.

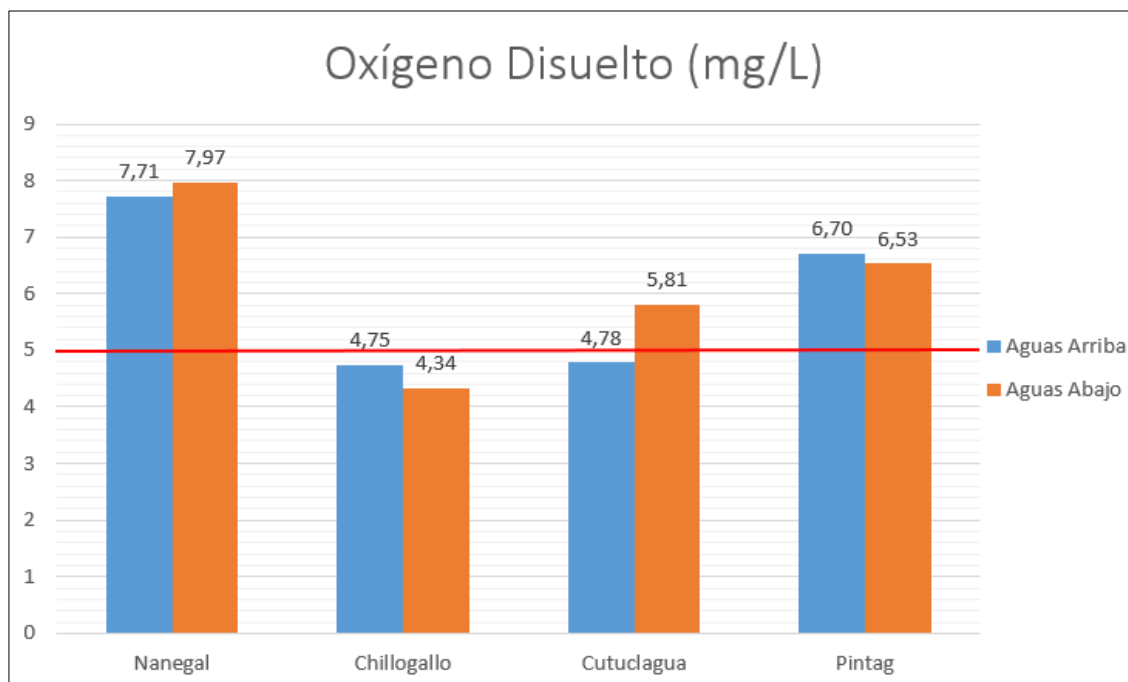
En la figura 33 se observa que tanto para los cementerios de Chillogallo como el Pintag presentan una disminución del OD aguas abajo del cementerio entre el 9% al 3% respectivamente, que puede estar relacionado con la contaminación que genera el mismo o por factores de origen antropogénico externos a la zona de evaluación, sin embargo, en el caso del cementerio de

Cutuclagua se evidenció un aumento en el OD medido aguas abajo del cementerio entre el 22%, que podría estar relacionado con el aumento de algas fitoplanctónicas que pueden estar creciendo a las riberas del río debido a la presencia de materia orgánica, las cuales incrementarían la producción del oxígeno disuelto a través de la fotosíntesis (Boyd, 2018; Martínez, Godínez y Zuñiga, 2014).

Por otra parte, el cementerio de Nanegal presenta un aumento en el OD aguas debajo del cementerio de 3%, lo cual se puede relacionarse con factores como la pendiente existente entre el cementerio y el cuerpo de agua el cual posee una diferencia aproximada de 30 metros, o el reducido número de personas enterradas que bordea un total de 500 fallecidos.

Figura 33.

Variación del oxígeno disuelto en los cementerios críticos



Análisis de la DBO₅ y la DQO

Estos dos parámetros se pueden relacionar entre sí ya que ambos determinan la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica por medios químicos en el caso de la DQO, y la cantidad necesaria para que los microorganismos degraden las sustancias orgánicas contenidas en el medio en el caso de la DBO₅.

En la tabla 21 se muestran los resultados derivados de la medición de estos dos parámetros realizados en laboratorio mediante los métodos MAM-23A/ Merck 112, 28, 29, 132 y MAM-38/ APHA 5210 B Modificados respectivamente, para los cementerios seleccionados.

Tabla 21.

Análisis de la DBO₅ y la DQO en agua de los Cementerios críticos.

Cementerio	Fuente	Posición	DBO ₅ (mg/L)			DBO LMP	DQO (mg/L)			DQO LMP
			Punto 1	Punto 2	Media		Punto 1	Punto 2	Media	
Nanegal	Río Alambi	Aguas arriba	<5	<5	<5	20	<8	<8	<8	40
		Aguas abajo	<5	<5	<5	20	<8	<8	<8	40
Chillogallo	Río Grande	Aguas arriba	77	78	77,5	20	141	149	145	40
		Aguas abajo	163	170	166,5	20	266	243	254,5	40
Cutuglagua	Quebrada	Aguas arriba	34	35	34,5	20	75	68	71,5	40
	Sanguanchi	Aguas abajo	33	32	32,5	20	57	64	60,5	40
Pintag	Quebrada	Aguas arriba	<5	<5	<5	20	10	9	9,5	40
	Calihuaycu	Aguas abajo	7	<5	<5	20	54	13	33,5	40

LMP= Límite máximo permisible según AM 097-A

Los resultados presentados indican que los cementerios de Nanegal y Pintag presentan valores inferiores a 5 mg/L para la DBO₅ cumplimiento con el Límite máximo permisible establecido en la tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097A "Criterios de Calidad Admisibles para la Preservación de la

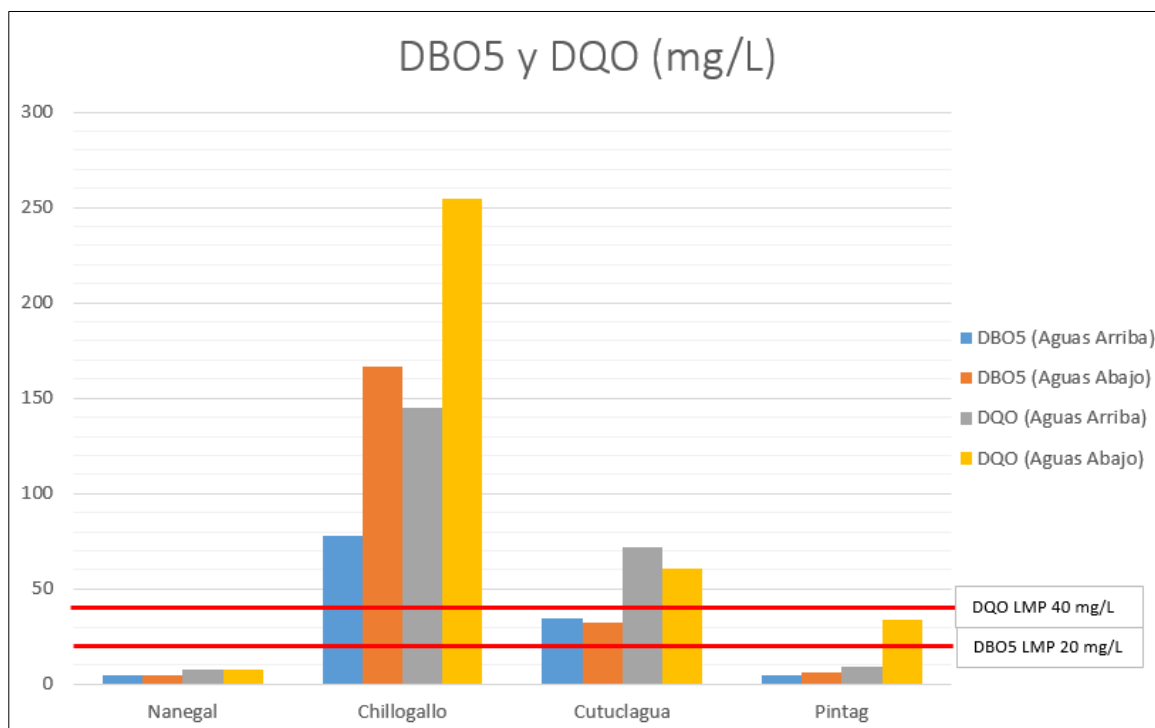
Vida Acuática y Silvestre en Aguas Dulces”, de igual forma los valores presentados para la DQO en estos mismos cementerios se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles.

Los cementerios de Chillogallo y Cutuglagua se encuentra fuera de normativa indicada, como se puede evidenciar en la figura 34. Se observa que el cementerio de Chillogallo presenta un incremento en las concentraciones de la DBO5 y la DQO aguas arriba y aguas abajo.

El cementerio de Pintag incrementa la DQO aguas abajo del cementerio, lo que puede atribuirse a otros factores de origen antropogénico externos al mismo. Fineza et al, 2016, en su estudio realizado en un cementerio ubicado en el sureste de Brasil obtuvo valores de DQO para aguas subterráneas en un rango de 82 a 126 mg/L. Zychowski, 2012, menciona que las altas concentraciones de DQO y DBO5 en este tipo de aguas, se deben a la rápida descomposición de los tejidos en el entorno. Si bien es cierto los resultados en el cementerio de Chillogallo presentan valores altos aguas abajo, se debe analizar a mayor profundidad la influencia del mismo en su entorno.

Figura 34.

Variación de la DBO₅ y la DQO en los cementerios críticos



Respecto a las tasas de crecimiento se evidenció que para el cementerio de Chillogallo sus valores de DBO₅ y DQO se incrementaron en un porcentaje del 115% y 76% respectivamente, mientras que el cementerio de Pintag sufrió un aumento en su DQO de 242%, valores que pueden estar relacionados debido a lixiviados con una alta carga orgánica, nitrógeno amoniacal, aniones móviles y metales alcalinotérreos (Żychowski, 2012; Zychowsky et al, 2015) o a factores de origen antropogénico (Fineza et al, 2014), por lo que, se necesitarían más estudios para determinar su influencia real.

Por el contrario, para el cementerio de Cutuclagua se observó una disminución en las concentraciones de DBO₅ y DQO en un porcentaje de 6% y 15% respectivamente, lo cual se puede

relacionar a la presencia de algas fitoplanctónicas que debido al aumento de carga orgánica crecen a las riberas del río y pueden producir este tipo de anomalías (Boyd, 2018; Martínez, Godínez y Zuñiga, 2014).

Respecto al cementerio de Nanegal y los valores de DBO5 del cementerio de Pintag ya que los resultados presentaron valores inferiores al método de detección del equipo, no se pudo llegar a una conclusión, sin embargo, se puede observar que el cementerio de nanegal, al presentar este tipo de valores no provocaría problemas de contaminación al medio.

Análisis de los 4 crematorios evaluados

Se recolectó un total de 7 muestreadores debido a que uno de estos fue sustraído en la zona en la que fue instalado. Los resultados obtenidos del material particulado sedimentable se presentan en la tabla 22.

Tabla 22.

Análisis del Material Particulado Sedimentable de Crematorios

NOMBRE	FECHA	ID	Peso Filtro (mg)	Cond (us/cm)	STD (mg)	P. Sed (mg/cm²día)	P. Sed Corr (mg/cm²día)	P. Sed (LMP)
Monteolivo	20/1/2021	TK-01	151,9	385	123,59	1,56	2,18	1
		TK-02	155,4	365	117,56	1,55	2,16	1
Necropoli	20/1/2021	TK-03	69,1	264	220,75	1,64	2,30	1
		TK-05	113,9	285	237,74	1,99	2,79	1
Colinas de la Paz	20/1/2021	TK-06	125,4	967	995,15	6,34	8,88	1
		TK-07	78,6	1125	1157,53	7,00	9,80	1
Jardines del Valle	20/1/2021	TK-08	352,4	1462	2630,57	16,89	23,64	1
		TK-09	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1

LMP= Límite máximo permisible según AM 097-A

El Anexo 4 del Libro VI “Norma de Calidad del Aire Ambiente o Nivel de Inmisión” del acuerdo ministerial 097A, en el numeral 4.1.2.1 “Partículas sedimentables” establece que la máxima concentración de una muestra colectada durante 30 días de forma continua es de un miligramo por centímetro cuadrado (1mg/cm²día), de tal manera que todos los crematorios de la zona de estudio incumplieron con el valor del parámetro considerado en normativa como se muestra en la figura 35, presentando un aumento en el porcentaje de incumplimiento relacionado con la norma que va desde el 117% hasta el 2264%. No obstante, dado que los muestreadores fueron instalados en sitios cercanos a los crematorios y cerca de vías de acceso público, por facilidad de accesibilidad, los datos recolectados no solo se verían influenciados por las emisiones de los hornos crematorios, si no a su vez, por el tránsito vehicular que circula por la zona.

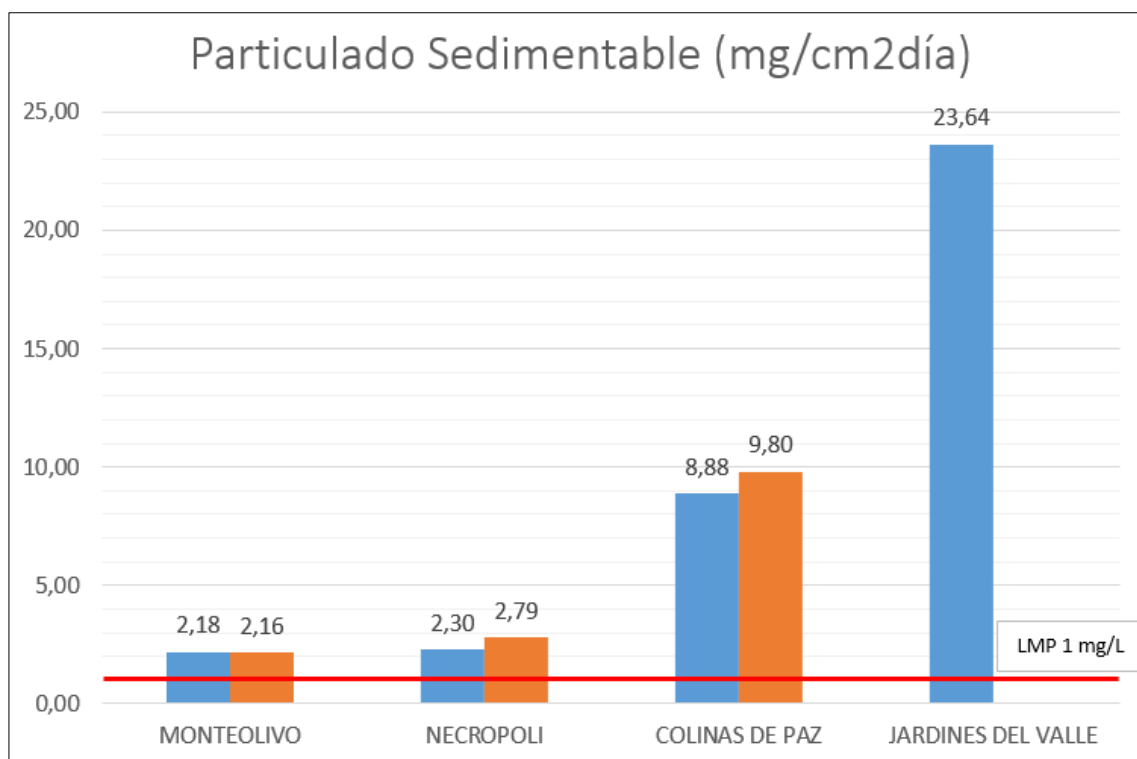
En el estudio realizado por Quezada, 2020, menciona que la presencia de material sedimentable se puede atribuir a la acción de tráfico vehicular, el viento como a la ejecución de obras civiles, lo cual claramente se puede observar en los resultados obtenidos en el Crematorio Jardines del Valle, ya que uno de los muestreadores fue instalado en la carretera Panamericana en las coordenadas X = 787247; Y = 9963499,1 (WGS84; 17S) y es el punto de evaluación donde se tiene una mayor presencia de material particulado sedimentable debido a que por esta vía circula una gran variedad tanto de vehículos livianos como pesados.

El crematorio de Monteolivo es otro caso en el que puede observar esta relación, puesto que el muestreador fue instalado a un costado de la vía de Nayón en las coordenadas X = 783799,5; Y = 9982106,4 (WGS84; 17S), sin embargo, al no tratarse de una vía muy transitada los valores

obtenidos de particulado sedimentable son menores, es decir, que la influencia del tráfico fue menor.

Figura 35.

Presencia de Material Particulado Sedimentable en crematorios de estudio



Es importante profundizar el estudio, considerando esta vez la instalación de los muestreadores en zonas de bajo tráfico vehicular y lo más cerca de los hornos de cremación, de manera de tener menor influencia externa para resultados más óptimos, de igual forma, es necesario realizar el muestreo durante un tiempo prolongado en época lluviosa y seca.

Establecimiento de Índices Empíricos Ambientales

Los valores obtenidos posteriores a la determinación de los coeficientes de priorización para cada una de las variables se muestran en la tabla 23, para este caso y en función de hacerlo visualmente mejor, se decidió redondear los coeficientes resultantes a dos decimales.

Tabla 23.

Índices empíricos ambientales para las variables de estudio

ITEM	DESCRIPCIÓN	VARIABLES									
		10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	Nivel Freático (A)	0,30	0,31	0,33	0,35	0,38	0,42	0,47	0,54	0,67	1,00
2	Distancia a fuentes de agua (B)	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,30	0,33	-
3	Precipitación (C)	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	-	-
4	Pendiente (D)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-	-
5	Tipo de suelo (E)	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	-	-	-	-
6	Edad del cementerio (F)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	-	-	-	-	-
7	Temperatura (G)	0,05	0,04	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-
8	Número de tumbas (H)	0,03	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-
9	Falla Geológica (I)	0,03	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Densidad poblacional (J)	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	SUMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

De acuerdo a los índices calculados se obtuvieron las ecuaciones empíricas lineales, donde se da un peso a cada variable de acuerdo a los valores obtenidos en la matriz de la tabla 23, pesos que fueron ordenados de mayor a menor grado de importancia y a diferencia de esta no se realizó el redondeo presentando coeficientes con 4 decimales, con el fin de disminuir errores de cálculo.

10 Variables

$$X = 0,2951A + 0,2126B + 0,1498C + 0,1036D + 0,6987E + 0,0452E + 0,0452F \\ + 0,0292H + 0,0292I + 0,0203J \quad (6)$$

9 Variables

$$X = 0,3119A + 0,2206B + 0,1524C + 0,1033D + 0,0683E + 0,0436E + 0,0436F \\ + 0,0282H + 0,0282I \quad (7)$$

8 Variables

$$X = 0,3311A + 0,2394B + 0,1551C + 0,1030D + 0,0672E + 0,0427E + 0,0427F \\ + 0,0288H \quad (8)$$

7 Variables

$$X = 0,3543A + 0,2392B + 0,1573C + 0,1017D + 0,0650E + 0,0413E + 0,0413F \quad (9)$$

6 Variables

$$X = 0,3825A + 0,2504B + 0,1596C + 0,1006D + 0,0641E + 0,0428E \quad (10)$$

5 Variables

$$X = 0,4185A + 0,2625B + 0,1599C + 0,0973D + 0,0618E \quad (11)$$

4 Variables

$$X = 0,4673A + 0,2772B + 0,1601C + 0,0954D \quad (12)$$

3 Variables

$$X = 0,5396A + 0,2970B + 0,1634C \quad (13)$$

2 Variables

$$X = 0,6667A + 0,3333B \quad (14)$$

Los valores obtenidos como ya se explicó anteriormente en el numeral 3.6.1, podrán ser utilizados para determinar el posible nivel de contaminación que podría tener un cementerio, considerando que no siempre se van a contar con todos los datos en campo, de tal manera que las ecuaciones empíricas lineales obtenidas permitirán al investigador poder llegar a un mejor criterio aun cuando no se cuente con todos los medios necesarios.

Para la validación del método del universo de los 71 cementerios se consideraron tres cementerios el de Nanegal, el de Tumbaco y el de Calderón ya que estos representan condiciones altas (no adecuado) medias (ligeramente adecuado) y bajas (totalmente adecuado, por ejemplo), para el primer análisis se trabajó inicialmente con un total de 10 variables utilizando los criterios de categorización establecidos en la tabla 7 y la ecuación número 6, los resultados de estos tres cementerios se muestran en la tabla 24.

Tabla 24.

Validación de Índices en 3 cementerios de estudio con 10 variables

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÍNDICES	NANEGAL		TUMBACO		CALDERON	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	Nivel Freatico	0,2951	4	1,18	2	0,59	1	0,30

2	Distancia a fuentes de agua	0,2126	5	1,06	3	0,64	3	0,64
3	Precipitación	0,1498	4	0,60	2	0,30	1	0,15
4	Pendiente	0,1036	5	0,52	3	0,31	2	0,21
5	Tipo de suelo	0,0698	2	0,14	2	0,14	2	0,14
6	Edad del cementerio	0,0452	3	0,14	3	0,14	3	0,14
7	Temperatura	0,0452	5	0,23	4	0,18	3	0,14
8	Número de tumbas	0,0292	1	0,03	3	0,09	1	0,03
9	Falla Geológica	0,0292	2	0,06	5	0,15	3	0,09
10	Densidad poblacional	0,0203	5	0,10	5	0,10	5	0,10
Total				4,05	Total	2,63	Total	1,92

Los resultados obtenidos se compararon con la escala de categorización establecida en la tabla 7, los cuales indican que el cementerio de Nanegal se encuentra en una zona “No Adecuada”, es decir que tiene una alta probabilidad de que pueda presentar problemas de contaminación. El cementerio de Tumbaco en una zona “Moderadamente Adecuada”, es decir que la probabilidad de que pueda presentar problemas de contaminación es media y el Cementerio de Calderón en una zona “Muy adecuada”, es decir que la probabilidad de que el cementerio presente problemas de contaminación es baja, estos resultados son comparables a los determinados mediante la herramienta de Álgebra de Mapas del Arcgis, como se indica en la figura 10

Posteriormente, para continuar con la validación del método se optó por trabajar con 8 y 6 variables utilizando los criterios establecidos en la tabla 7 y las ecuaciones 8 y 10 respectivamente, los resultados obtenidos se muestran en las tablas 25 y 26

Tabla 25.*Validación de Índices en 3 cementerios de estudio con 8 variables*

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÍNDICES	NANEGAL		TUMBACO		CALDERON	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	Nivel Freatico	0,3311	4	1,32	2	0,66	1	0,33
2	Distancia fuentes de agua	0,2294	5	1,15	3	0,69	3	0,69
3	Precipitación	0,1551	4	0,62	2	0,31	1	0,16
4	Pendiente	0,1030	5	0,52	3	0,31	2	0,21
5	Tipo de suelo	0,0672	2	0,13	2	0,13	2	0,13
6	Edad del cementerio	0,0427	3	0,13	3	0,13	3	0,13
7	Temperatura	0,0427	5	0,21	4	0,17	3	0,13
8	Número de tumbas	0,0288	1	0,03	3	0,09	1	0,03
			Total	4,11	Total	2,49	Total	1,80

Tabla 26.*Validación de Índices en 3 cementerios de estudio con 6 variables*

ITEM	DESCRIPCIÓN	ÍNDICES	NANEGAL		TUMBACO		CALDERON	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	Nivel Freatico	0,3825	4	1,53	2	0,77	1	0,38
2	Distancia fuentes de agua	0,2504	5	1,25	3	0,75	3	0,75
3	Precipitación	0,1596	4	0,64	2	0,32	1	0,16
4	Pendiente	0,1006	5	0,50	3	0,30	2	0,20
5	Tipo de suelo	0,0641	2	0,13	2	0,13	2	0,13
6	Edad del cementerio	0,0428	3	0,13	3	0,13	3	0,13
			Total	4,18	Total	2,39	Total	1,75

Por lo que, los resultados obtenidos al ser comparados con los valores resultantes en la tabla 24 son similares, indicando de igual forma que el cementerio de Nanegal se encuentra en una zona “No Adecuada”, el cementerio de Tumbaco en una zona “Moderadamente Adecuada” y el Cementerio de Calderón en una zona “Muy adecuada”, de tal manera, que las ecuaciones lineales empíricas dan al investigador la oportunidad de trabajar con variables de fácil acceso, sin la necesidad de recurrir a análisis físico químicos para obtener una proyección inicial, permitiendo a través de estos presentar un prototipo que permite identificar si un cementerio se encuentra o no en una zona adecuada para su ubicación, esto ayuda a determinar el nivel de riesgo que posee el cementerio en su medio, lo cual sirve de base para las acciones pertinentes que se deben tomar al respecto, por otra parte, también puede ser usado para nuevos proyectos de ubicación de campo santos, permitiendo conocer de manera previa la situación que tendría el cementerio en el medio proyectado, útil para la toma de decisiones.

En este sentido cabe señalar que una vez aplicados los criterios establecidos en la formulación de índices empíricos y al ser comparados con los rangos determinados en la tabla 7 producto del estudio de Arcos, 2020, se puede señalar que un cementerio puede ser considerado como crítico cuando una vez obtenidos los valores de la sumatoria de variables su resultante se encuentra en un rango de 4,01 a 5, mientras que podría ser considerado como ligeramente adecuado en un rango de 3,01 a 4, moderadamente adecuado en un rango de 2,01 a 3, muy adecuado en un rango de 1,01 a 2 y completamente adecuado en un rango de 0,01 a 1.

Para que un cementerio sea considerado con una zona con una mayor probabilidad de presentar riesgos de contaminación su resultante debería estar en valores superiores a 4,00,

como se puede evidenciar en el análisis realizado a los cementerios de Nanegal y de Pintag, por lo que, se recomienda para futuras edificaciones de estos sitios, evitar caer dentro de estos rangos y estar lo más cercano al rango de 0,01 a 2,00, ya que en un rango de 2,01 a 4,00 es probable que a su vez, se pueda presentar problemas de contaminación al medio, situación que puede ser evidenciada en el análisis de los cementerios de Cutuglagua y el de Chillogallo.

Por lo que, el uso de estos índices permitirá a los investigadores utilizarlos como una herramienta ahorradora de recursos económicos, tecnológicos, de tiempo y personal, donde a través de este análisis de fácil acceso bibliográfico, se puede enfocar los recursos para realizar análisis más detallados, a los cementerios que realmente tengan mayor probabilidad de presentar problema de contaminación.

Propuesta técnica para la ubicación de sitios destinados para la disposición de cadáveres humanos

La propuesta que considera las mejores y las peores alternativas para la ubicación de sitios destinados para disposición de restos humanos, se describen en la tabla 27.

Tabla 27.

Alternativas técnicas para la ubicación de restos humanos

Peso	RANGOS DESCRIPCIÓN	"1"	"2"	"3"	"4"	"5"
		Completamente Adecuado	Muy Adecuado	Moderadamente Adecuado	Ligeramente Adecuado	No Adecuado
29,51%	Nivel Freático (m)	> 4,5	3,5 a 4,5	2,5 a 3,5	1,5 a 2,5	0,5 a 1,5
21,26%	Distancia a fuentes de agua (m)	> 4000	1500 a 4000	500 a 1500	200 a 500	0 a 200

14,98%	Precipitación (mm)	0 a 500	500 a 1000	1000 a 2000	2000 a 3000	> 3000
10,36%	Pendiente (%)	0 a 2	2 a 5	5 a 25	25 a 40	> 40
6,98%	Tipo de suelo	Arcillo-limoso Arcilloso	Franco Arcilloso Limoso Arcillo arenoso	Franco arcillo- arenoso Franco arcillo-limoso	Franco Arenoso Franco Franco limoso	Arena gruesa Arenoso Arenoso francoso
4,52%	Edad del cementerio (año)	12	25	50	100	< 100
4,52%	Temperatura (°C)	1 a 5	6 a 10	11 a 15	16 a 20	> 20
2,92%	Número de tumbas (Und)	0 a 1000	1001 a 5000	5001 a 25000	25000 a 50000	> 50001
2,92%	Falla Geológica (Km)	> 20	15 a 20	10 a 15	5 a 10	0 a 5
2,03%	Densidad poblacional (hab/Km2)	0 a 2	3 a 20	21 a 80	81 a 160	> 160

Los criterios establecidos en la tabla precedente pueden ser utilizados para determinar las mejores condiciones que se deben considerar para la ubicación de restos humanos. Para condiciones óptimas se recomienda el uso de los rangos 1 y 2, tratando de estar lo más alejado posible de los rangos 4 y 5 debido a las implicaciones ambientales que el cementerio pueda presentar por problemas de contaminación.

Una zona adecuada para la ubicación de un cementerio sería aquella cuyo suelo sea arcilloso o arcilloso limoso pues garantizaría una impermeabilización natural del cementerio, impidiendo así la infiltración de lixiviados producto de la descomposición de los cadáveres, así como la migración de contaminantes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos.

Otro condicionante es que el nivel freático del cementerio se encuentre a distancias superiores a 4,5 metros de profundidad y que la distancia a fuentes de agua este situada por encima de los 500 metros, pues el agua es el principal medio de transporte de contaminantes y los contaminantes producto de la descomposición cadavérica disminuyen al aumentar la distancia entre la fuente.

Se recomienda a su vez, que los cementerios se sitúen en zonas secas con bajos niveles de precipitación, considerando que varias reacciones metabólicas para organismos microbiológicos se ven influenciados de forma directa en presencia de un mayor aporte de agua en su medio.

De igual forma se debe evitar ubicar estos sitios en zonas cálidas ya que altas temperaturas y humedad pueden acelerar el proceso de putrefacción y lo más alejados de fallas geológicas que puedan afectar a las estructuras de las fosas y posibles infiltraciones a nivel freático.

La pendiente es otro papel fundamental a considerar, evitando situar estos sitios en pendientes pronunciadas debido a que altos niveles de escorrentía en tierras inclinadas influirían en la pérdida de nutrientes al afectar el área de erosión del suelo y trasladando los lixiviados liberados a los tramos de la sub cuenca más próximos.

Referente al establecimiento de nuevos cementerios, lo más adecuado es que previo a su instalación se realice un estudio de las condiciones a las que va hacer expuesto, analizando el mayor número de variables posibles como nivel freático, cercanía al cuerpo de agua, precipitación, pendiente, tipo de suelo entre otras, priorizando las más críticas o las que tienen un mayor peso.

Es necesario, a su vez, regular el uso de ataúdes metálicos y cambiarlos por alternativas más ecológicas, como es el uso de cajas de cartón de fácil degradación, de manera de disminuir el impacto al medio, además de ver la posibilidad del tratamiento de los lixiviados provenientes de estos sitios, considerándolos como un tipo de relleno sanitario, por ejemplo, para poder realizar la impermeabilización y captación de este líquido, por medio, de drenes y tubos colectores para que estos puedan ser tratados mediante una PTAR.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se establecieron índices empíricos a través de la matriz de Satty, por medio de la formulación de ecuaciones lineales de 10 hasta 2 variables, mismas que han sido validadas a través 3 cementerios con condiciones adecuadas, medias y no adecuadas, obteniendo resultados acorde a los estudios de campo, por lo que los índices empíricos desarrollados se convertirán en herramientas para determinar criterios iniciales de viabilidad de implantación para sitios de disposición de cadáveres humanos.
- Se evaluaron las características ambientales y geográficas de cementerios y crematorios de la zona de estudio, mediante datos levantados en campo o información cartográfica proporcionada, que con ayuda de una matriz de Saaty facilitó y automatizó la determinación de cementerios con mayor probabilidad de riesgos de contaminación, permitiendo precisar de este modo, el monitoreo de cementerios y crematorios críticos durante la fase de campo.
- Se caracterizó parámetros físico químicos de los cementerios y crematorios seleccionados, estableciendo contaminación en 2 de los 4 cementerios críticos y en todos los crematorios de la zona de estudio, lo cual puede deberse a su influencia en el medio o causas de origen antropogénico, para los cementerios restantes se evidenció que no presentan problemas de contaminación.

- Se propuso alternativas técnicas con variables de fácil obtención para la mejora en la gestión de cadáveres humanos, indicando que las mejores condiciones que se deben considerar para su disposición, se encuentran en los rangos 1 y 2 de las alternativas expuestas, manteniendo las peores condiciones en los rangos 4 y 5 y estableciendo como herramienta de fácil acceso para nuevos cementerios, el uso de índices empíricos, que permitirán enfocar recursos económicos en sitios que necesiten una mayor cantidad de estudios, a los que realmente puedan presentar problemas de contaminación.

Recomendaciones

- Realizar un estudio que abarque la fluctuación de la influencia de los contaminantes tanto a los cuerpos de agua como a la matriz de suelo de los cementerios críticos de la zona de estudio, tanto en época lluviosa como en época seca.
- Ampliar la selección de cementerios en zonas que presenten pozos de aguas o estanques cercanos y lejos de fuentes externas que influyan en los resultados.
- Replicar el estudio a nivel nacional en zonas que presenten un clima cálido como en la Costa o con alta incidencia de precipitación como en la Amazonía para determinar la influencia de las condiciones climatológicas en la descomposición y contaminación de fuentes de agua.
- Ampliar la investigación de los crematorios de la zona de estudio, instalando los muestreadores los más cerca posible a los mismos y lo más alejado de factores externos que puedan influir en los resultados.

- Realizar una evaluación previa del sitio donde se va a instalar un nuevo cementerio enfocado en el estudio de las variables más críticas y uso de los índices empíricos para determinar inicialmente la afectación ambiental y geográfica que podría tener la zona.

Capítulo VI

Bibliografía

Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - ARCSA. *Reforma del Acuerdo Ministerial 004712*, Resolución ARCSA-DE-040-2015-GGG, Registro 538, 08 de julio de 2015, Ecuador.

Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria - ARCSA. *Reforma del Acuerdo Ministerial 004712*, Resolución ARCSA-DE-049-2015-GGG, Registro 556, 31 de julio de 2015, Ecuador.

Altamirano, F., y Martínez, D., (2015). *Identificación de sectores vulnerables pos acción sísmica y elaboración del mapa de respuestas máximas estructurales de la zona centro del DMQ*, (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.

Alvarado, A. (2012). *Néotectonique et cinématique de la déformation continentale en Equateur. Sciences de la Terre*. Université de Grenoble. Français. ffNNT : 2012GRENU026ff. fftel-0087033

Arcos, E. (2020). *Identificación de zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de camposantos en los Cantones Mejía, Quito y Rumiñahui* (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, Ecuador.

Aruomero, A , Afolabi, O . (2014). *Comparative assessment of trace metals in soils associated with casket burials: Towards implementing green burials*. Eurasian Journal of Soil Science , 3 (1) , 65-76 . DOI: 10.18393/ejss.66428

Basmajian, C., y Coutts, C. (2010). *Planning for the disposal of the dead*. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 305-317. doi:10.1080/01944361003791913.

- Barreto, D. (2018). *Reflexiones sobre la muerte*. Universidad Central del Ecuador. Vol. 1, No. 376.
- Beauval, C., Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Nocquet, J.-M., Monelli, D., y Danciu, L. (2014). *Probabilistic Seismic-Hazard Assessment in Quito, Estimates and Uncertainties*. Seismological Research Letters. 85. 1316-1327. 10.1785/0220140036.
- Bianchi. (2016). *Cara de Funeral o Miserere*, Recuperado en 15 de marzo de 2021 de <https://mpr21.info/cara-de-funeral-o-miserere/>
- Boyd, C. (2018). *La gestión adecuada del oxígeno disuelto el aspecto más importante de la gestión de la calidad del agua de los estanques acuícolas*, Recuperado en 15 de marzo de 2021 de <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/dinamica-del-oxigeno-disuelto/>
- Buschmann, C., y Tsokos, M. (2014). *Cremación*, Handbook of Forensic Medicine, Chapter 8, Bonn, Alemania: Bukhard Madea, <https://doi.org/10.1002/9781118570654.ch8>
- Cabrera, R., Dalma, Héctor., y Valderrama, A. (2010). *Estudio Comparativo para la Determinación del Polvo Atmosférico Sedimentable empleando las Metodologías de Tubo Pasivo y de Placas Receptoras en la ciudad Universitaria de San Marcos – Lima*, Recuperado en 15 de marzo de 2021, de https://sisbib.unmsm.edu.pe/Bibvirtual/publicaciones/rev_cedit/2008_V03/pdf/a06v3.pdf
- Canning, L., y Szmigin, I. (2010). *Death and disposal: The universal, environmental dilemma*. Journal of Marketing Management, 26(11-12), 1129-1142. doi:10.1080/0267257X.2010.509580.
- Cansio Isla, W. (2018). *Restos de cadáveres se acumulan como basura en el Cementerio de Colón*. Radio Televisión Martí.
- Carter, David O. (2005). *Forensic taphonomy: processes associated with cadaver decomposition in soil*. PhD thesis, James Cook University.

Carter, D. O., Yellowlees, D., y Tibbett, M. (2007). *Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems*. Die Naturwissenschaften, 94(1), 12–24. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0159-1>.

Chongqing, G. (2018). *Geoelectrical Measurements Terrameter With Res/IP Meter*. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de <http://cqgold2015.en.hisupplier.com/product-2790811-Geoelectrical-Measurements-Terrameter-with-Res-IP-Meter.html>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.

Coto, C. (2002). *La viruela: peste del pasado, amenaza del presente*. Revista Química viva, Número 1, año 1. ISSN 1666-7948.

Dent, B.B. y Knight, M.J., (2007). *Cemeteries: A special kind of landfill. The context of their sustainable management., Groundwater: Sustainable Solutions*, Conference of the International Association of Hydrogeologists, Melbourne, Feb. 1998, [451 – 456]

Distrito Metropolitano de Quito. *Ordenanza que Aprueba el Plan Metropolitano de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Distrito Metropolitano de Quito 0041*, 22 de febrero de 2015. Ecuador.

Distrito Metropolitano de Quito. *Reglamento establecimientos servicios funerarios y manejo cadáveres*, Acuerdo Ministerial 192, 20 de abril de 2018. Ecuador.

Dummer, T. J., Dickinson, H. O., y Parker, L. (2003). *Adverse pregnancy outcomes around incinerators and crematoriums in Cumbria, north west England, 1956-93*. Journal of epidemiology and community health, 57(6), 456–461. <https://doi.org/10.1136/jech.57.6.456>

Durán, M., y Canchignia, A. (2016). *Repotenciación y remodelación del cementerio Nintinacazo cantón Latacunga parroquia Ignacio Flores*. Universidad Central del Ecuador.

Ecofunerales. (2018). *Cremaciones verdes*. Recuperado den 15 de marzo de 2021, de <https://www.ecofuneral.es/articulos/cremaciones-verdes>

Espinoza, J.J. (2007). *Contaminación de aguas subterráneas por lixiviados provenientes de sepulturas bajo suelo en el camposanto "Parques del Paraiso" Lurin – Lima*, Universidad Nacional Mayor San Carlos, Lima, Perú.

Ferraz, A. (2016). *Body disposal in Portugal: Current practices and potential adoption of alkaline hydrolysis and natural burial as sustainable alternatives* (Tesis de Maestría). Facultad de Ciencias Universidad de Do Porto, Portugal.

Fineza, A., Marques, E., Bastos, R. y Betim, L. (2014). *Impacts on the Groundwater Quality Within a Cemetery Area in Southeast Brazil*. *Soils and Rocks*. 37. 161.

Formanek, P. (1997). *An Assessmenet of Groundwater Contamination at Cemetery Sites* (Tesis de Maestría). Universidad de Queen, Kingston, Ontario, Canada.

Gala León, F.J., Lupiani Jiménez, M., Raja Hernández, R., Guillén Gestoso, C., González Infante, J.M., Villaverde Gutiérrez, M^a. C., y Alba Sánchez, I.. (2002). *Actitudes psicológicas ante la muerte y el duelo: Una revisión conceptual*. *Cuadernos de Medicina Forense*, (30), 39-50. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S113576062002000400004&lng=es&tlng=es.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mejía. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2015-2025*.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Rumiñahui. (2014). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Rumiñahui 2012-2025*. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de <http://181.112.151.212/Documentacion/Cant%C3%B3n%20Rumi%C3%B1ahui/pdyot->

[2014-2019.pdf](#).

Green, L. C., Crouch, E. A. C., y Zemba, S. G. (2013). Human and Ecological Risk Assessment : *Cremation , Air Pollution , and Special Use Permitting : A Case Study. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 20:2(March 2015), 559–565. <https://doi.org/10.1080/10807039.2012.719391>

Guzmán, J.A. (2018). Aspectos Bioéticos y Jurídicos del Manejo del Cadáver “ *Un análisis del estatus mortem y su consonancia ética en la praxis*”. UCA – VIDA Y – ÉTICA, 77-141.

Harker, A. (2012). *Landscapes of the Dead: an Argument for Conservation Burial*. Berkeley Planning Journal, 25.

Huguet, Guiomar. (2020). *Grandes Pandemias de la Historia*, Recuperado en 15 de marzo de 2021, de https://historia.nationalgeographic.com.es/a/grandes-pandemias-historia_15178

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). *Censo de población y vivienda*. Pichincha, Ecuador. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultadosprovinciales/pichincha.pdf>

INEC. (2016). *Anuario Nacimientos y Defunciones 2016*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Jackson, L. (2020). *La Fosa Común para Muertos con Coronavirus en Nueva York, en imágenes*. Recuperado en 15 de marzo de 2021 de https://elpais.com/elpais/2020/04/09/album/1586457256_299548.html#foto_gal_1

Jonker, C., y 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*. Revista Skopein, 12
- Keijzer, E. (2016). The environmental impact of activities after life: *life cycle assessment of funerals*. *Int J Life Cycle Assess* 22, 715–730. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1183-9>
- Keijzer, E. y Kok, H. (2011). *Environmental Impact of different funeral technologies*. TNO report. TNO-060-UT-2011-001432.
- Kim, K. H., Hall, M. L., Hart, A., y Pollard, S. J. (2008). *A survey of green burial sites in England and Wales and an assessment of the feasibility of a groundwater vulnerability tool*. *Environmental technology*, 29(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/09593330802099015>
- Kindbom, K., y Munthe, J. (2007). *Product – related emissions of Mercury to Air in the European Union*, Swedish Environmental Resaerch Institute, Recuperado en 15 de Marzo de 2021, de <https://www.ivl.se/publikationer/publikation.html?id=2764>
- La Hora. (2009). *Rellenos de Quito sin registro*, recuperado en 15 de marzo de 2021, de <https://lahora.com.ec/noticia/872821/rellenos-de-quito-sin-registro-#:~:text=Siglos%20atr%C3%A1s%20cuando%20la%20ciudad,no%20existen%20pu es%20fueron%20rellenadas.>
- La Hora. (2010). *Cementerios no cumplen con las normas*, recuperado en 15 de marzo de 2021, de <https://lahora.com.ec/noticia/1101015975/cementerios-no-cumplen-con-las-normas.>
- Lenntech, (2017). *Water Treatment*. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de <https://www.lenntech.es/por-que-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua>
- Li, Y., Wang, C., y Tang, H. (2006). *Research advances in nutrient runoff on sloping land in watersheds*. *Aquatic Ecosystem Health y Management*, 9, 27 - 32.

- Lugones, M., Ramírez, M., y Ríos, J. (2015). *La cremación*. Revista Cubana de Medicina General Integral, 31(1), 120-128. Recuperado en 14 de marzo de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086421252015000100016&lng=esyt&lng=es.
- Luna, S. (2012). *Espacios para el Recuerdo Parque Cementerio en la Ciudad de Riobamba* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Martínez, M., Godínez, J- L., y Zuñiga-Ramos, C. (2012). *Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México*. Revista Mexicana de Biodiversidad. 10.7550/rmb.32706.
- McKinley, J., (2013). *Cremation*, The Oxford Handbook of the Archaeology of Death and Burial, Oxford, Reino Unido: Liv Nilsson Stutz and Sarah Tarlow, DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199569069.013.0009
- Méndez, Y. y F. Calderón (2010). "Evaluación de las aguas subterráneas contaminadas con putrescina y cadaverina en las zonas aledañas a los cementerios del norte de Bogotá y el campus de la Universidad Santo Tomás." Hallazgos 7(13): 151-163.
- Meyers, Albert. (1998). *Los Incas en el Ecuador Análisis de los restos materiales*. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1475&context=abya_yala
- Ministerio de Salud. (1970). *Reglamento General de Cementerios*, Decreto 357, 18 de junio de 1970, Chile.
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2006). *Ley Orgánica de Salud*, Registro Oficial Suplemento 423 de 22 de diciembre del 2006, Ecuador.
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2013). *Reglamento para regular el funcionamiento de los establecimientos que prestan servicios funerarios y de manejo de cadáveres y restos*

humanos, Acuerdo Ministerial 3523, 01 de agosto de 2013, Ecuador.

Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2018). *Reglamento para la gestión de cadáveres, mortinazos, piezas anatómicas, osamentas humanos y regulación del funcionamiento de los establecimientos que prestan servicios funerarios*, Acuerdo Ministerial 192, 29 de marzo de 2018, Ecuador.

Miller, A., y Wiens, M. (2007). *Cemetery Setback Distances to Prevent Surface Water Contamination*, Recuperado en 15 de Marzo de 2021, de https://ncceh.ca/sites/default/files/Cemetery_setback_distances_surface_water_contamination-Oct_2017.pdf

Montse, M., y Domingo, J. (2010). *Toxic emissions from crematories: A review*, *Environment International*, Volume 36, Issue 1, Pages 131-137, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.09.006>.

Morales, J. J., Díaz, K. P., y Sierra, C. A. S. (2014). Riesgo toxicológicos por la exposición ocupacional al formaldehído en sala de anatomía patológica. *Ciencia y Salud Virtual*, 6(2), 141-152.

Morgan O. (2004). *Infectious disease risks from dead bodies following natural disasters*. *Rev Panam Salud Publica*. 15(5):307-12

Mutis, M., Pinzón, J., y Castro, G. (2011). *Las amalgamas dentales: ¿un problema de salud pública y ambiental? Revisión de la literatura*. *Universitas Odontologica*, 30(65). Recuperado a partir de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revUnivOdontologica/article/view/1849>

Neckel, A., Júnior, A., Ribeiro, L.A., Silva, C.C., y Cardoso, G. (2016). *Cemeteries heavy metals concentration analysis of soils and the contamination risk for the surrounding resident population*.

Neckel, A., Costa, C., Débora, M., Saggin, C., y Thaines, E. (2017). *Environmental damage and*

public health threat caused by cemeteries: a proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 9(2), 216-230. Epub February 13, 2017. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.ao05>

Nistal, M. (1996). *Legislación Funeraria y Cementerial Española: Una visión Espacial*. Recuperado en 15 de marzo de 2021 de, <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur19/19nistal/19nistal.htm>

Olson, P. R. (2014). *Flush and Bone: Funeralizing Alkaline Hydrolysis in the United States*. *Science, Technology, y Human Values*, 39(5), 666–693. <https://doi.org/10.1177/0162243914530475>.

Organización Mundial de la Salud, (2018). *Cancer*, Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>, (Agosto, 2019).

Ortizoga, J. (2018). *Bioquímica en la descomposición cadavérica (putrescina y cadaverina)*. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de https://www.academia.edu/41616145/Bioqu%C3%ADmica_en_la_descomposici%C3%B3n_cadav%C3%A9rica_putrescina_y_cadaverina_

Pachar, J. (2013). *Cambios Postmortem y Data de la Muerte en Ambientes Tropicales*. *Medicina Legal de Costa Rica*, Vol. 30 (2), ISSN 1409-0015.

Pedrosa, A., Figueiredo, Fernando, Azevedo, José y Tavares, A.O. (2014). *Environmental geology associated to cemeteries: A case study on the central region of Portugal*. 101. 1037-1041.

Rodrigues, L., y Pacheco, A. (2003). *Groundwater Contamination from Cemeteries Cases Of Study*, Recuperado en 15 de marzo de 2021, de <http://www.waylandwells.info/wp-content/uploads/2012/07/Groundwater-Contamination-from-Cemeteries-Case-Studies-2010.pdf>.

Rumble, H., Troyer, J., Walter, T., y Woodthorpe K. (2014). *Disposal or dispersal?*

Environmentalism and final treatment of the British dead, Mortality, 19:3, 243-260, DOI: 10.1080/13576275.2014.920315.

Parsons, D., y Astrid, Ximena. (Octubre de 2016). *Concepciones de muerte: enfoques, campos temáticos y formación de profesionales*. Séptimo Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias. Congreso llevado cabo en Bogotá. Colombia.

Pérez, R. F. R. (2013). *La Arquitectura del Crematorio: Función, estética y medio ambiente*. Revista Arquitectura e Ingeniería, 7(2), 2-26.

Ramos, G. (2014). *Rituales funerarios andinos antes y después de la conquista española*. Recuperado en 15 de marzo de 2021, de <http://journals.openedition.org/e-spania/23312> ; DOI : 10.4000/e-spania.23312

Rebay-Salisbury, K. (2012). *Inhumation and cremation: how burial practices are linked to beliefs*. Recuperado de, <https://doi.org/10.2307/j.ctvh1dx2t.5>

Saaty , T. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. International journal of services sciences, 1(1), 83-98.

Saaty, T. (1986). *Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process*. Management science, 32(7), 841-855. Recuperado el 12 de 11 de 2019

Saaty, T. (1988). *What is the analytic hierarchy process?* Springer, 109-121. Recuperado el 10 de 11 de 2019

Saaty, T. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. (Vol. 6). Boston: RWS publications.

Sanchís Fernández, L. (2018). *Afrontamiento del miedo a la muerte* (Doctor). UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, Madrid. Recuperado de:

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/49449/1/T40309.pdf>

Secretaría del Agua, *Mapa Hidrogeológico del Ecuador Escala 1:25.000*, Enero 2014

Spongberg, A. y Becks, P. (2000). *Inorganic Soil Contamination from Cemetery Leachate*. *Water Air and Soil Pollution*, 117(1):313-327. <https://doi.org/10.1023/A:1005186919370>

Statista. (2021). *Número de personas fallecidas a consecuencia del coronavirus a nivel mundial a fecha de 27 de junio de 2021, por continente*, Recuperado en 15 de marzo de 2021, de <https://es.statista.com/estadisticas/1107719/covid19-numero-de-muertes-a-nivel-mundial-por-region/>

Terán, S. (2015). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa que ofrezca servicios exequiales de cremación, ubicado en el sector industrial de Carcenlén, en la ciudad de Quito* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Tibau, A. V., y Grube, B. D. (2019). *Mercury Contamination from Dental Amalgam*. *Journal of health y pollution*, 9(22), 190612. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.22.190612>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights* (ST/ESA/SER.A/423).

Veizaga, Karen Janine, y Pinto, Bismarck. (2005). *REPRESENTACIÓN SOCIAL DE LA MUERTE EN DISTINTAS RELIGIONES*. *Ajayu Órgano de Difusión Científica del Departamento de Psicología UC BSP*, 3(2), 101-122. Recuperado en 14 de marzo de 2021, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207721612005000200006&lng=esytlng=es.

Vélez, S., Cardona, S., Monsalve, T., Quiroz, M., Sánchez, D., Terrazas, A., y Sedov, S. (2019). *Estudio de Necrosoles y suelos de cementerio*. *DYNA*. 86. 337-345. 10.15446/dyna.v86n211.80757.

Wang, Lin-Chi., Lee, Wen-Jhy., Lee, Wei-Shan., Chang-Chien, Guo-Ping., y Tsai, Perng-Jy., (2003). *Characterizing the Emissions of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans from Crematories and Their Impacts to the Surrounding Environment*. *Environmental Science y Technology*, 37(1), 62–67. doi:10.1021/es0208714

Williams A., Temple T., Pollard S.J., Jones R.J.A., y Ritz K. (2009) *Environmental Considerations for Common Burial Site Selection After Pandemic Events*. In: Ritz K., Dawson L., Miller D. (eds) *Criminal and Environmental Soil Forensics*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9204-6_7

World Health Organization. (1998). *The Impact of cemeteries on the Environment and Public Health an Introductory Briefing*, Waste Management and Soil Pollution, Recuperado en 15 de marzo de 2021, de [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01\(A\).pdf;jsessionid=520A59EA1A2318E4BEE6EA90AF6D9CC5?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01(A).pdf;jsessionid=520A59EA1A2318E4BEE6EA90AF6D9CC5?sequence=1)

Zaldumbide, L. (2012). *Los Espacios de la Muerte en Quito: Sitios de Inhumación y Campo Funerario*, (Tesis de Maestría). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador, Quito, Ecuador.

Żychowski, J. (2012). *Impact of cemeteries on groundwater chemistry: A review*, CATENA, Volume 93, 2012, Pages 29-37, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.009>.

Żychowski, J., y Bryndal, T. (2015). *Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses - a review*. *Journal of water and health*, 13(2), 285–301. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.119>