

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

INGENIERIA AMBIENTAL

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

**DETERMINACIÓN DE LA IDONEIDAD TERRITORIAL DE CEMENTERIOS
UBICADOS EN ZONAS NO ADECUADAS Y LIGERAMENTE ADECUADAS EN
LOS CANTONES QUITO, MEJÍA Y RUMIÑAHUI**

WENDY SILVANA CACHAGUAY VIRACUCHA

wendy.cachaguay@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL

maria.aldas@epn.edu.ec

DMQ, Febrero 2024

CERTIFICACIONES

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

WENDY SILVANA CACHAGUAY VIRACUCHA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por WENDY SILVANA CACHAGUAY VIRACUCHA, bajo mi supervisión.

MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

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

WENDY SILVANA CACHAGUAY VIRACUCHA

MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL

DEDICATORIA

A quienes me apoyaron desde los inicios de mi formación académica y a quienes llegaron en el transcurso de ella.

A mi madre, Yolanda, mi motor e inspiración para cada día ser un mejor ser humano y un excelente profesional; por inculcarme la tenacidad para superar los obstáculos de la vida, la paciencia para tolerar las situaciones de estrés, la perseverancia para no decaer cuando las cosas se ponían difíciles y su abnegación para apoyarme en cada paso que doy y seguiré dando.

A mis hermanos, Andrés y Gaby, por enseñarme que sin importar el tiempo ni los errores ellos no me van juzgar y van a estar ahí para darme ánimos.

A mis primos, Karina, Karla y Esteban, quienes supieron ser ese escape y soporte cuando todo se veía difícil y sin salida, por sacarme de la cotidianidad y enseñarme que, así como hay tiempo para estudiar, también hay tiempo para divertirse, lo importante es encontrar el equilibrio.

A todos quienes confiaron en mí, mis habilidades y capacidades, espero no defraudarles y que este trabajo sea un motivo de orgullo y felicidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía, apoyo y fortaleza; agradezco por cada bendición y obstáculo que tuve a lo largo de mi vida, ya que me hizo ser quien soy ahora.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental y a todos los docentes que formaron parte de mi formación académica, ya que sin ellos no hubiera sido posible el desarrollo de mis conocimientos y habilidades.

Agradezco también al Centro de Investigación y Control Ambiental (CICAM), quienes me dieron la primera oportunidad para realizar prácticas pre profesionales y fueron una de las fuentes más importantes de conocimiento con respecto a análisis del laboratorio después de pasar la virtualidad debido a la pandemia.

Extiendo mi agradecimiento a mi tutora María Belén Aldás, quien con paciencia y dedicación supo acompañarme en el desarrollo del presente trabajo. Me motivó y presionó constantemente para dar lo mejor de mí y poder culminar con esta investigación.

Finalmente, agradezco a mis amigas con quienes asumimos el presente proyecto por compartir tanto la responsabilidad como la experiencia, además de ser con quienes compartí la mayor parte de la carrera universitaria y que sin duda serán grandes colegas y excelentes profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1 Introducción	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Alcance.....	4
1.4 Marco teórico.....	5
1.4.1. Cementerios – Descomposición de los cadáveres.....	8
1.4.2. Contaminación de agua y suelo.....	9
1.4.2.1. Recurso Agua	9
1.4.2.2. Recurso Suelo	9
1.4.3. Variables ambientales	9
1.4.3.1. Nivel Freático	10
1.4.3.2. Distancia a cuerpos de agua.....	10
1.4.3.3. Precipitación	11
1.4.3.4. Pendiente.....	11
1.4.3.5. Textura del Suelo	11
1.4.3.6. Temperatura Ambiente.....	12
1.4.3.7. Número de Tumbas y Edad del Cementerio.....	12
1.4.3.8. Falla Geológica	12
1.4.3.9. Densidad Poblacional.....	12
1.4.4. Normativa Ambiental	13
1.4.5. Índices Empíricos Ambientales.....	14
1.4.6. Proceso Jerárquico Analítico	14
1.4.6.1. Matriz de Saaty	14
1.4.6.2. Matriz Pareada.....	14
1.4.6.3. Matriz de Prioridades	15
2 METODOLOGÍA.....	15

2.1	Descripción del área de estudio.....	16
2.2	Delimitación del área de estudio.....	17
2.3	Obtención de la Muestra.....	18
2.4	Datos de variables ambientales y geográficas.....	22
2.4.1.	Nivel Freático.....	22
2.4.2.	Distancia a cuerpos de agua.....	22
2.4.3.	Precipitación.....	23
2.4.4.	Pendiente.....	24
2.4.5.	Textura del suelo.....	25
2.4.6.	Temperatura Ambiente.....	26
2.4.7.	Número de Tumba y Año de creación del Cementerio.....	26
2.4.8.	Densidad poblacional.....	26
2.4.9.	Falla Geológica.....	27
2.4.10.	Ecuaciones lineales empíricas.....	28
2.4.11.	Estandarización de variables y categorías.....	29
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
3.1	Resultados.....	32
3.2	Conclusiones.....	62
3.3	Recomendaciones.....	62
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
5	ANEXOS.....	73

RESUMEN

La expansión urbana, el crecimiento poblacional, el aumento de las tasas de natalidad y mortalidad han creado la necesidad de la expansión y construcción de espacios para la disposición final de los cadáveres. El presente estudio busca la determinación de la idoneidad territorial de cementerios ubicados en zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas mediante la validación de índices empíricos ambientales en los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui. Para esto, se partió de la recopilación de información de valores representativos correspondientes a diez variables ambientales y geológicas, las cuales son: nivel freático, distancia al cuerpo de agua, precipitación, pendiente, textura de suelo, temperatura ambiente, número de tumbas, densidad poblacional, edad del cementerio y fallas geológicas. El tamaño de la muestra corresponde a 6 cementerios dentro de las categorías antes mencionadas, 3 corresponden a zonas ligeramente adecuadas y los otros 3 a zonas no adecuadas. La validación de los índices empíricos ambientales se realizó mediante la comprobación de una serie de ecuaciones lineales empíricas, propuestas en estudios anteriores, reemplazando las 10 variables con valores obtenidos en campo hasta las ecuaciones que tienen 2 variables como mínimo. Como resultado se obtuvo que, a pesar de la influencia de las condiciones atmosféricas, la diferencia entre la categoría inicial y la calculada no es alta, por lo que se verifica la validez de los índices ambientales y se comprueba la confiabilidad en el uso de las ecuaciones empíricas. Por lo tanto, esta herramienta puede ser empleada por las autoridades para determinar la idoneidad de un terreno para cementerios.

PALABRAS CLAVE: Validación, índices empíricos ambientales, variables ambientales, idoneidad territorial.

ABSTRACT

Urban expansion, population growth, increased birth and mortality rates have created the need for the expansion and construction of spaces for the final disposal of corpses. The present study seeks to determine the territorial suitability of cemeteries located in unsuitable and slightly suitable areas through the validation of empirical environmental indices in the cantons of Quito, Mejía and Rumiñahui. For this, the starting point was the compilation of information of representative values corresponding to ten environmental and geological variables, which are: water table, distance to the body of water, precipitation, slope, soil texture, ambient temperature, number of graves, density population, age of the cemetery and geological faults. The sample size corresponds to 6 cemeteries within the aforementioned categories, 3 correspond to slightly suitable areas and the other 3 to unsuitable areas. The validation of the empirical environmental indices was carried out by verifying a series of empirical linear equations, proposed in previous studies, replacing the 10 variables with values obtained in the field up to the equations that have at least 2 variables. As a result, it was obtained that, despite the influence of atmospheric conditions, the difference between the initial category and the calculated one is not high, so the validity of the environmental indices is verified and the reliability in the use of the empirical equations. Therefore, this tool can be used by authorities to determine the suitability of a plot of land for cemeteries.

KEYWORDS: Validation, empirical environmental indices, environmental variables, territorial suitability.

1 Introducción

El crecimiento poblacional, la expansión de las zonas urbanas, el desarrollo de nuevas enfermedades, las malas condiciones de vida y el aumento de la tasa de mortalidad a nivel mundial ha despertado el interés de varios investigadores en la contaminación ambiental generada por los cementerios, además de la búsqueda de un espacio idóneo para su construcción, tomando en cuenta el ordenamiento territorial de una ciudad (Florián, 2014; Fonseca et al., 2019; Mosquipa, 2020; Puentes & Rey, 2021; Zychowski & Bryndal, 2014). Según Długozima (2022), los cementerios son infraestructuras clave en una comunidad, que al estar mal ubicados pueden resultar en problemas ambientales, paisajísticos y comunitarios, por lo tanto, la valorización de la tierra es un instrumento necesario para la regulación y planificación del uso de suelo y el desarrollo sostenible de una ciudad.

Los cementerios son espacios que provocan alteraciones en las condiciones de armonía de la naturaleza, el ambiente y la salud humana. El entierro tradicional genera necrolixiviados que representan un riesgo ambiental al no ser controlados ni tratados previo a su descarga, además, pueden causar impactos negativos tanto al suelo como al agua superficial y subterránea (Oliveira et al., 2013). Según Gwenzi (2021), a partir de análisis de varios estudios sobre la contaminación orgánica, inorgánica y microbiana de los procesos funerarios, se identificó la presencia de metales pesados como contaminantes inorgánicos; DQO y DBO en niveles elevados como contaminantes orgánicos en aguas superficiales y drenajes de los cementerios y bacterias y virus patógenos como contaminación microbiana.

Al morir, el cuerpo humano sufre cambios debido a la acción de agentes biológicos, físicos o químicos, es así que, el proceso de descomposición puede ser aerobio o anaerobio; si la descomposición es aerobia se llama putrefacción (Cabrera & García, 2006). Mientras que, si es una descomposición anaeróbica las sustancias orgánicas son degradadas y metabolizadas en nuevos compuestos orgánicos (Calderón, 2004).

Neckel et al. (2017) establece que el valor de contaminación líquida y sólida liberada de un cadáver desde las 72 horas hasta los 3 primeros años después de la muerte es alto, se llegan a liberar gases como sulfuro de hidrógeno, mercaptanos, dióxido de carbono, metano y amoníaco. Además, indican que un individuo de aproximadamente 70 kg genera de 30 a 40 litros de necrolixiviados al ambiente.

Guayasamín (2021) desarrolló un estudio para evaluar las características de 71 cementerios en Quito, Mejía y Rumiñahui, a partir de la elaboración de la matriz de Saaty, donde se establecieron índices empíricos para la identificación de las categorías de

diversos cementerios. Mediante el uso de ecuaciones lineales de 10 hasta 2 variables como mínimo, se haría posible saber si un cementerio es apto o no para ser ubicado dentro de una zona. Las variables de estudio fueron: nivel freático, distancia a fuentes de agua, precipitación, pendiente del terreno, tipo de suelo, edad del cementerio, temperatura, número de tumbas, fallas geológicas y densidad poblacional, las cuales fueron definidas sobre la base de investigaciones previas y el criterio de varios especialistas, investigadores y académicos (Guayasamín, 2021).

Para el análisis de cada variable de estudio, Guayasamín (2021) se basó, tanto en el criterio de un panel de expertos, la matriz de priorización y algunos casos de estudios como en Brasil, donde se plasmaron investigaciones sobre la migración de patógenos en el subsuelo (Pacheco et al., 1991); Europa, que analiza el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas de cementerios ubicados en diferentes litologías, hidrogeología y áreas geográficas (Rodríguez & Pacheco, 2010); en América del Norte, donde se examinan los planes de los municipios para políticas apropiadas sobre el uso de tierra y la guía de desarrollo de los cementerios (Larkin, 2021) y en Nueva Zelanda, donde se explica una metodología para identificar sitios potenciales para cementerios (Judge, 2012).

Debido a lo mencionado con anterioridad, la ubicación inadecuada de los cementerios generaría problemas sociales y ambientales, además de la falta de herramientas normalizadas para la selección de un lugar óptimo para su construcción. El presente trabajo busca proporcionar de este instrumento a los encargados de la gestión de los cementerios, mediante la validación de los índices empíricos ambientales propuestos con el fin de que ayuden a las autoridades de los GAD'S parroquiales a mejorar los procesos de toma de decisiones, formulación e implementación de medidas mitigadoras para la ubicación de cementerios y se desarrollen ciudades sostenibles con un correcto ordenamiento territorial. Es así que se busca obtener la mayor funcionalidad de los indicadores desarrollados y lograr determinar si una zona es apta o no para la construcción de un cementerio.

1.1 Objetivo general

- Determinar la idoneidad territorial de cementerios ubicados en zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas mediante la validación de índices empíricos ambientales, en los cantones Quito, Mejía y Rumiñahui.

1.2 Objetivos específicos

1. Validar los índices empíricos ambientales para la determinación de la idoneidad territorial de cementerios ubicados en zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas de los cantones Quito, Mejía y Rumiñahui.
2. Determinar la consistencia de la escala de categorización para zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas mediante el uso de los valores obtenidos de variables ambientales medidas en campo.
3. Comprobar las ecuaciones lineales empíricas determinadas bibliográficamente con los resultados obtenidos en campo e información bibliográfica.

1.3 Alcance

El alcance del presente estudio es una revisión bibliográfica que se enfoca en la validación de índices empíricos ambientales desarrollados a partir de ecuaciones lineales empíricas de 10 hasta 2 variables como mínimo, capaces de relacionar las condiciones ambientales y geográficas a las que se ve expuesto un cementerio, durante la época seca. Los cementerios a analizar corresponden a los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui.

A partir de la recopilación de información acerca de los riesgos ambientales en cementerios, el impacto ambiental ocasionado por los lixiviados que estos generan y una base de datos de 71 cementerios dentro de la zona de estudio; utilizando la matriz de Saaty, se seleccionaron 15 cementerios para la evaluación de las características ambientales y geográficas y el establecimiento de los índices empíricos ambientales. Las variables de interés fueron: el nivel freático, distancia a fuentes de agua, precipitación, pendiente del terreno, tipo de suelo, edad del cementerio, temperatura, número de tumbas, fallas geológicas y densidad poblacional.

Después de esta preselección, se realizó un levantamiento de información a partir de visitas en campo; en el caso de recurso agua, se consideró la accesibilidad para la toma de muestras aguas arriba, en el cementerio y aguas abajo del mismo, además del equipo necesario para la toma de parámetros en campo y si existe la presencia de descargas de agua al cuerpo hídrico que será utilizado para el análisis. Mientras que, en el caso del recurso suelo, es importante considerar la factibilidad de la toma de muestras a profundidades de 2 m, 2.5 m y 3 m de distancia desde la superficie. En base a estos datos, se definieron los cementerios para la ejecución de los análisis en campo y en laboratorio, los cuales serán ejecutados por un laboratorio certificado.

Este estudio tendrá dos periodos de análisis, con respecto a la época seca realizado en el presente estudio y época lluviosa, realizado en estudios previos. Además, se identificaron fluctuaciones en cementerios catalogados como críticos. También, restricciones con respecto a la accesibilidad a las zonas de muestreo en la época lluviosa ya que las condiciones climáticas cambian y podrían afectar en el progreso del estudio.

La presente investigación busca la validación de los índices ambientales obtenidos a partir de ecuaciones lineales que permitan determinar si una zona es apta o no para la ubicación de un cementerio y sirva como solución ambiental y territorial a los problemas generados por la mala gestión de los cementerios.

1.4 Marco teórico

La muerte es el inapelable destino de todo ser. Una realidad desconocida a la que cada uno de los seres humanos se ha enfrentado ideando formas felices, tristes o indiferentes de culminar sus vidas. La muerte es, en particular, un proceso terminal que consiste en el decaimiento del proceso homeostático de un ser vivo y, por ende, termina en el fin de la vida misma (Florián, 2014).

Según Franco et al. (2022) la palabra cementerio deriva del latín: “coemeterium”, significa dormitorio; los primeros cementerios datan del período de 10.000 años a.C. Estas construcciones tienen un carácter específico que está sugestionado por las creencias religiosas y filosofía de vida de las poblaciones que las crean; constituyen en la confluencia entre el patrimonio natural y cultural. Actualmente, la problemática que afecta a estas construcciones es la presión territorial debido al aumento de población e incremento de la mortalidad.

El desarrollo de las ciudades induce el problema de hacinamiento en los cementerios, de manera que las necrópolis crecen y crecen cada día, sin disponer del espacio suficiente para los nuevos entierros. Debido a la expansión poblacional, dentro de las ciudades la ubicación de los cementerios se ha vuelto un problema. En un principio, los cementerios fueron construidos al interior de las iglesias, luego en las zonas laterales y finalmente en las afueras de la ciudad; pero, las urbes han crecido de manera exponencial, lo que provoco, en consecuencia que, los cementerios queden en lugares céntricos de las ciudades, como se puede observar en la Figura 1 (Florián, 2014).



Figura 1. Vista aérea del cementerio urbano Père Lachaise de París.
Fuente: Ayuntamiento de Paris (2014)

Hoy en día, el diseño y construcción de cementerios debe ser reconsiderado debido al crecimiento poblacional. Este crecimiento es cíclico, es decir, el aumento de la tasa de natalidad provoca un aumento de la tasa de mortalidad. Este ciclo genera problemas en el diseño arquitectónico y la preservación de los cementerios, lo que resulta en degradación ambiental (Franco et al., 2022).

De acuerdo a estos indicios, se sabe qué factores naturales como el aire, suelo y agua, como componentes del ambiente, se ven crónicamente afectados por las actividades antropogénicas (Itodo et al., 2021). Cualquier cementerio puede significar un peligro para el ambiente y la salud de las personas, ya que si no se controlan correctamente los procesos de inhumación y exhumación, se puede propiciar la formación de olores muy desagradables, la contaminación de cuerpos de agua por vertimiento de agentes patógenos y tóxicos, la emisión de gases contaminantes a la atmósfera que pueden afectar directamente a la población asentada en el entorno y generar un deterioro definitivo de la biósfera (Villalva & Rosselliny, 2017).

Sin embargo, los cementerios han recibido poca vigilancia como fuentes nocivas de contaminación. La mayoría de los cementerios existentes se establecieron sin tener en cuenta posibles amenazas al ambiente o la comunidad local (Üçisik & Rushbrook, 1998). Por ejemplo, los cementerios en Nigeria se construyen frecuentemente cerca de comunidades debido a razones religiosas y culturales o a la falta de disponibilidad de tierras en zonas pobladas, lo mismo puede decirse de Brasil, Sudáfrica y la mayoría de los países en desarrollo (Fineza et al., 2014; Idehen, 2020; Jonker & Olivier, 2012).

Además, existen estudios que informan altas concentraciones de bacterias, iones de amonio y nitratos en una pluma de contaminación que disminuyó rápidamente con la distancia a las tumbas en Alemania (Üçisik & Rushbrook, 1998). Por otro lado, van Haaren (1951) midió una columna muy salina de iones de cloruro, sulfato y bicarbonato debajo de tumbas en Holanda.

Estudios realizados por Dent & Knight (1998) en el Cementerio Botánico de Australia brindaron la oportunidad de evaluar las condiciones del agua subterránea cerca de entierros recientes. Los resultados mostraron un claro aumento de la concentración de salinidad cerca de tumbas recientes, mientras que, debajo del cementerio se encontraron elevados iones de cloruro, nitrato, nitrito, amonio, ortofosfato, hierro, sodio, potasio y magnesio.

El proceso general de tratamiento de cadáveres, desde la autopsia y el embalsamamiento hasta la disposición final en lugares de entierro o cremación, genera varios contaminantes

potenciales capaces de dispersarse al ambiente urbano (Gwenzi, 2021). Muchas veces los cuerpos son enterrados con maquillaje, ropa, joyas, pinturas, marcapasos, clavos de hierro, empastes, barnices y otros artículos de valor en los ataúdes.

De hecho, otros estudios encontraron que la mayor contaminación proveniente de los cementerios se origina a partir de las cargas funerarias. Los minerales que se utilizan en la fabricación de ataúdes pueden liberar sustancias tóxicas nocivas, las cuales pueden ser transportados desde las tumbas y filtrarse al agua subterránea convirtiéndose en un riesgo potencial para la salud de los habitantes en las áreas que rodean el cementerio (Borstel & Niquette, 2000).

Según los resultados de estudios realizados por Azevedo et al. (2023), los cementerios pueden contrastar con un tipo de vertedero público de residuos sólidos. Mientras que, para Dent & Knight (1998) los cementerios pueden ser una fuente de contaminación debido a la infiltración y el flujo de contaminantes como los necro lixiviados en los suelos que varían predominantemente según el número de entierros recurrentes, la profundidad del nivel freático, la conductividad hidráulica, y minerales arcillosos que forman el suelo y su capacidad de intercambio catiónico.

Varios informes muestran que la contaminación de los cementerios produce una alteración en los componentes microbiológicos y aumenta la prevalencia de metales pesados y contaminantes orgánicos tóxicos (COT) en el suelo y el agua subterránea, incluso siendo descubiertos algunos otros en el aire (Neckel et al., 2017) .

Hoy en día, es difícil encontrar suficiente superficie terrestre para cementerios en zonas pobladas y, en un futuro próximo, es posible que no se encuentre suficiente espacio para cementerios en las ciudades de la mayor parte del mundo. Por ejemplo, en Australia alrededor de 1,34 millones de adultos (>15 años) morirán en los próximos 10 años. Si solamente el 40% de estas personas están enterradas y el 75% ocupan tumbas nuevas de un tamaño medio de 1,1 m por 2,4 m; entonces se consumirán 106 ha de tierra. Estos nuevos cementerios deberían construirse para enterrar el número esperado de cadáveres, pero la disponibilidad de terrenos es incierta (Üçisik & Rushbrook, 1998).

Según Leong et al. (2021) los cementerios mal ubicados y gestionados incorrectamente presentan un grave potencial de contaminación. El diseño geotécnico adoptado para el entierro masivo debe garantizar una mínima infiltración de agua de lluvia en el lugar del entierro para reducir la cantidad de necro lixiviado. Además, también debería brindar la oportunidad de maximizar la retención de virus mediante el proceso de adsorción.

1.4.1. Cementerios – Descomposición de los cadáveres

Según Lazo Arévalo (2017) el proceso de descomposición está condicionado a factores acelerantes y retardantes. Esta descomposición es alimentada por los nutrientes ricos en fluidos liberados por autólisis e inicia debido a microorganismos que se provienen principalmente del tracto intestinal y el tejido blando del cadáver. Las bacterias endógenas intestinales son las encargadas de iniciar la putrefacción de un cadáver para posteriormente seguir con la fase facultativa (Itodo et al., 2021).

Según Silva (1995) del proceso de descomposición de un cuerpo humano, se generan aproximadamente 0.4 - 0.6 litros de lixiviado, cuya densidad es de 1.23 g/cm³. Por otra parte, para Żychowski (2008) este lixiviado está compuesto por un 60% de agua y un 30% de sales que contiene iones de nitrógeno, fósforo, cloro, bicarbonato, calcio y sodio; además de diversos metales pesados como por ejemplo el cromo, cadmio, plomo, hierro, manganeso y níquel y un 10% de materia o sustancias orgánicas como la putrescina y la cadaverina, que contienen fundamentalmente sustancias nitrogenadas en su composición.

Además, estos lixiviados tiene altos valores de conductividad, pH y demanda bioquímica de oxígeno (DBO), así como el olor único a pescado, lo que permite distinguirlos. Por otra parte, existen químicos como formaldehído, arsénico y metanol que pueden ser incluidos dentro de los contaminantes derivados del cuerpo humano debido a que son frecuentemente utilizados para la quimioterapia, en caso de personas con cáncer (Żychowski, 2008).

El estudio realizado por la Agencia Ambiental del Reino Unido (2004) estimó que más de la mitad de la carga contaminante consecuencia de la descomposición se lixiviará durante el primer año y disminuirá en los años siguientes. El tiempo requerido para la eliminación de los contaminantes provenientes de cementerios en el suelo dependen de diversos factores como la tasa de precipitación, las características del suelo y la tasa de permeabilidad del sitio de enterramiento.

Es claro que factores como el tipo de suelo y pH impactan la lixiviación y desintegración de estos contaminantes en el agua subterránea. Según investigadores brasileños como Pacheco (2000) y Silva (1995), entre otros, se resalta que el líquido resultante de la descomposición de cadáveres se caracteriza por tener un elevado grado de toxicidad y patogenicidad, bastante soluble en agua a un pH entre 5 a 9 y temperatura de 23° C a 28° C.

1.4.2. Contaminación de agua y suelo

1.4.2.1. Recurso Agua

Como consecuencia de la putrefacción de cadáveres humanos se producen aguas de filtración de los cementerios, al estas infiltrarse pueden mezclarse con aguas subterráneas y llegar hasta las aguas superficiales, lo que implica un riesgo potencial para el ambiente si no se eliminan los contaminantes antes mencionados (Üçisik & Rushbrook, 1998).

Se ha demostrado que los cementerios pueden tener grandes impactos adversos sobre el agua subterránea, por ejemplo, cuando el nivel freático es alto (durante períodos de precipitaciones intensas) pueden ser una fuente de enfermedades infecciosas (van Wyk et al., 2022)

1.4.2.2. Recurso Suelo

Se realizaron estudios en los que se descubrió que una capa de suelo no saturada es la línea de defensa más importante contra el transporte de productos de degradación a los acuíferos. Actúa como filtro y adsorbente. Se postula que el tipo de suelo más útil para maximizar la retención de productos de degradación es una mezcla de arcilla y arena de baja porosidad y textura de grano pequeño a fino (Üçisik & Rushbrook, 1998).

El nitrato producto de la descomposición del cuerpo humano resulta muy móvil en el suelo, el ion nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo. La lixiviación de nitratos hacia el subsuelo puede contaminar los acuíferos subterráneos, creando graves problemas de salud. La cantidad de nitratos que se lixivian hacia el subsuelo depende del régimen de pluviosidad y del tipo del suelo (Archer, 2000).

1.4.3. Variables ambientales

Existen factores tanto ambientales como geográficos que influyen en la descomposición de los cadáveres y en la migración de los contaminantes. Para Żychowski (2008) y algunos investigadores de Sudáfrica la influencia de los cementerios en la contaminación es propensa debido a los siguientes factores: el número de entierros; las propiedades físicas, químicas y biológicas de los hábitats naturales; fluctuación en las capas freáticas; circulación de agua en el sustrato; y los procesos de unión entre los productos de descomposición y el sustrato, el suelo y la materia orgánica.

Según Guayasamín (2021) en el proyecto “Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos: entierro y cremación en Ecuador”, se

identificó 10 variables ambientales con las cuales desarrollo una serie de ecuaciones empíricas lineales para la obtención de los índices ambientales que permitan determinar la idoneidad de un terreno para la construcción de un cementerios. A continuación, se presenta cada variable:

1.4.3.1. Nivel Freático

Se define como nivel freático a la medida existente entre el nivel superior de agua en un acuífero y la superficie (Ingeom, 2020). Al drenar el agua por el suelo, esta fluye por una zona donde se llena parcialmente de agua y una porción de aire, conocida como zona no saturada; después, el agua continua su migración hasta llegar a una zona en el que todos los poros se llenan de agua, esta se denomina zona de saturación, el límite entre ambas zonas se llaman nivel freático (Girón, 2011) (Figura 2).

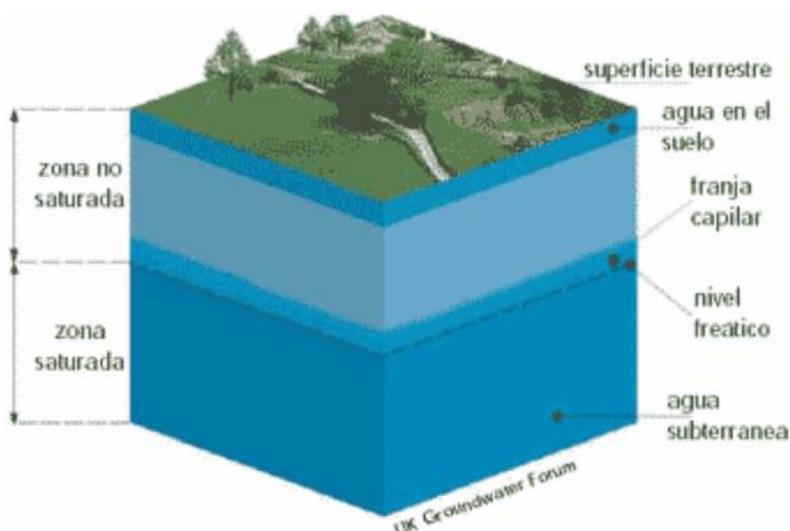


Figura 2. Perfil de distribución del agua bajo el suelo.

Fuente: (Campillo, 2003)

1.4.3.2. Distancia a cuerpos de agua

Según Długozima (2022) se recomienda no construir cementerios cerca de los cuerpos de agua. La zona debe estar localizada al menos a 100 m de la línea de inundación de 50 años. Además, según el Acuerdo Ministerial 3523 (2013), Art. 15. Establece que “los cementerios deben estar ubicados a una distancia de 200 m de agua de consumo, ríos, manantiales o canal de riego, si existen cuerpos en descomposición cerca de fuente de agua”, se puede incrementar el riesgo de infección. Existen otras fuentes que establecen una distancia mínima de 250 m a fuentes de agua potable y de 10 m a drenajes de campo (Miller & Wiens, 2017).

1.4.3.3. Precipitación

La precipitación es un factor que interviene en la descomposición de los cadáveres, debido a que produce un aumento de la pérdida de masa y minimiza el tiempo de descomposición. La lluvia tiene la capacidad de lixiviar los componentes del cadáver y aumentar la humedad en el suelo, lo cual evita que el suelo se seque y crea un ambiente propicio para la acción de insectos y bacterias (Archer, 2004).

Además, según Arizabalo & Díaz, (1991), en varias investigaciones se muestra que al haber infiltración de agua por desechos orgánicos se eleva el nivel freático dentro o debajo de un depósito sanitario. Esto causa que el lixiviado salga del depósito, lo que da origen a la formación de manantiales de lixiviado y a la migración de los lixiviados hasta la zona de agua subterránea o agua superficial.

1.4.3.4. Pendiente

La pendiente se refiere al grado de inclinación de los terrenos y se define como el ángulo formado por dos lados. La pendiente puede ser expresada según el ángulo en el sistema sexagesimal o en porcentaje (Alcántara, 2010). La pendiente es un parámetro que influye en la formación del suelo y la erosión; cuando hay pendientes pronunciadas la velocidad del agua de escorrentía aumenta y no permite la infiltración de agua al terreno, por lo tanto, la erosión será mayor (Beláustegui, 1999).

Según Długożima (2022), uno de los factores que pueden generar un defecto fatal en la construcción de un cementerios es la colocación de la infraestructura en una pendiente menor a 10° o 30 % o más en la zona, además de, lugares con una depresión por debajo de la zona circundante. Por otra parte, Fisher (2001) plantea que una pendiente entre 2° a 6° es ideal para un cementerios, y que el ángulo de pendiente máximo sería 9°, ya que permite un drenaje suficiente para el sitio minimizando la erosión superficial.

1.4.3.5. Textura del Suelo

Üçisik & Rushbrook (1998) establece que, si el cementerio está ubicado en un tipo de suelo poroso, como arena o grava, el movimiento de la filtración puede ser rápido y mezclarse fácilmente con el agua subterránea debajo del sitio. Se postula que el tipo de suelo más útil para maximizar la retención de productos de degradación es una mezcla de arcilla y arena de baja porosidad y textura de grano pequeño a fino (Üçisik & Rushbrook, 1998).

Mientras que, Martins et al. (1991) explica que la transmisión de carga bacterial patogénica proveniente de la descomposición de cadáveres hacia las aguas subterráneas es inevitable en suelos arenosos, altamente porosos y permeables.

1.4.3.6. Temperatura Ambiente

Según Janaway et al. (2009) la temperatura es uno de los factores con mayor incidencia en los procesos microbianos para la descomposición de un cadáver de manera interna y externa. Las temperaturas cálidas acelerarán la putrefacción de los cadáveres al mismo tiempo que las condiciones frías inhibirán el proceso; altas temperaturas provocan un aumento en la velocidad de descomposición, debido al incremento de las reacciones químicas y altas tasas de crecimiento microbiano (Hart & Casper, 2004). Mientras que, las bajas temperaturas realentizan el proceso de descomposición y detienen la acción enzimática microbiana.

1.4.3.7. Número de Tumbas y Edad del Cementerio

Es un parámetro que ha sido considerado mediante un panel de expertos (Guayasamín, 2021). Además, estudios como el de Zychowski & Bryndal (2014) también plantean la importancia del número de entierros. Turajo et al. (2019) establece cementerios con más de 200 tumbas son zonas de riesgo potencia, ya que al tener que realizar enterramientos masivos, dejan de cumplir con la normativa.

1.4.3.8. Falla Geológica

Este parámetro fue considerado debido a la ubicación de los cementerios a analizar, en su mayoría están localizados en Quito. Quito se encuentra en un contexto sísmico y de alta actividad volcánica, lo que puede afectar y provocar posibles infiltraciones de contaminantes al nivel freático (Guayasamín, 2021).

1.4.3.9. Densidad Poblacional

La densidad poblacional describe el número de personas en un área determinada y por lo general se expresa como el número de personas por hectárea (p/ha) o unidades de vivienda por hectárea. También puede expresarse en otras unidades de superficie, tales como kilómetros cuadrados (ONU, 2017).

1.4.4. Normativa Ambiental

Mediante oficio No. STHV-DMPPS-7049 de 21 de diciembre de 2017, se remite la propuesta de Ordenanza Metropolitana Modificatoria de la Ordenanza Metropolitana No. 127, del Plan de Uso y Ocupación del Suelo, donde:

Los cementerios o camposantos zonales y metropolitanos se implantarán en suelo compatible de acuerdo con el cuadro de usos de suelo y sus relaciones de compatibilidad con actividades económicas y/o equipamientos (CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO, 2017).

Los cementerios zonales se implantarán en un área mínima de 20.000 m² mientras que los cementerios metropolitanos se implantarán en un área mínima de 50.000 m².

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, Embalsamiento, Formolización y Transporte de Cadáveres Humanos, en el cual se establecieron parámetros que debían cumplir los cementerios nuevos y los antiguos para su funcionamiento (Ministerio de Salud Pública, 2013),

Art. 15.- “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”

Art. 16.- “...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 (...)”

Sin embargo, 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 (Guayasamín, 2021).

1.4.5. Índices Empíricos Ambientales

Los indicadores ambientales son medidas cuantitativas y cualitativas, a través de los cuales se puede realizar el seguimiento, cuantificación, comparación y evaluación periódica de las variables ambientales basándose en datos bibliográficos y medidos en campo, determinando tendencias y permitiendo generar medidas de mitigación y protección al ambiente para mejorar el estado de la zona de estudio. Además, son una herramienta de información técnica y científica, que constituye un apoyo fundamental en el monitoreo de las actividades antropogénicas que causan impactos al ambiente, además de la gestión y evaluación de la sostenibilidad de una sociedad (Haaland & Konijnendijk, 2015).

1.4.6. Proceso Jerárquico Analítico

Según Lotfi et al., (2009) es posible utilizar el método de análisis de criterios múltiples, denominado Proceso Jerárquico Analítico (AHP), para calcular el peso de los factores que afectan el proceso de toma de decisiones y, con la ayuda de la herramienta SIG, la gestión, estandarización y análisis de los factores espaciales y ambientales, para la construcción de un cementerio en la ciudad. En consecuencia, el uso de un AHP, en conjunto con una herramienta SIG, y a través de la ponderación de factores que influyen en la toma de decisiones, permite realizar la superposición de capas especiales, con el fin de crear una capa que determina la grado de razonabilidad de las posiciones (Mahlangu et al., 2020).

1.4.6.1. Matriz de Saaty

El método Analytic Hierarchy Process (AHP), propuesto por Thomas Saaty en 1980 es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio que permite generar escalas de prioridades basándose en juicios expertos manifestados a través de una escala de preferencia (Nantes, 2019).

En el caso de Guayasamín (2021), para la formulación de los índices empíricos ambientales se siguió la metodología basada en Saaty y de conformidad a la 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 para la elaboración de una matriz de identificación de las variables con valores establecidos para la determinación de cementerios adecuados y no adecuados, la cual se puede evidenciar en el anexo 1.

1.4.6.2. Matriz Pareada

Esta matriz fue elaborada con el método AHP, contiene las comparaciones de las variables en función a la pregunta: ¿cuánto más importante es el elemento de la izquierda de la

matriz que el elemento de la parte superior de la matriz, con respecto al objetivo en cuestión?, se valoró la importancia siguiendo la escala de Saaty (Arcos, 2020). Se puede observar esta matriz completa en el anexo 2.

1.4.6.3. Matriz de Prioridades

El cálculo del a matriz de prioridades de las variables se siguió el método elevando a potencias la matriz pareada, posteriormente se suman cada fila y se divide cada valor para la suma total de todas las filas (Arcos, 2020). El resultado de la matriz de prioridades se encuentra en el anexo 3.

2 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del presente trabajo se aplicó un método deductivo. La investigación es de tipo descriptiva con un enfoque mixto, es decir, cuantitativo y cualitativo debido a las características de la información a analizar. La metodología se desarrolla en tres etapas: recopilación de información, procesamiento de datos y determinación de la idoneidad del suelo. (Figura 2)

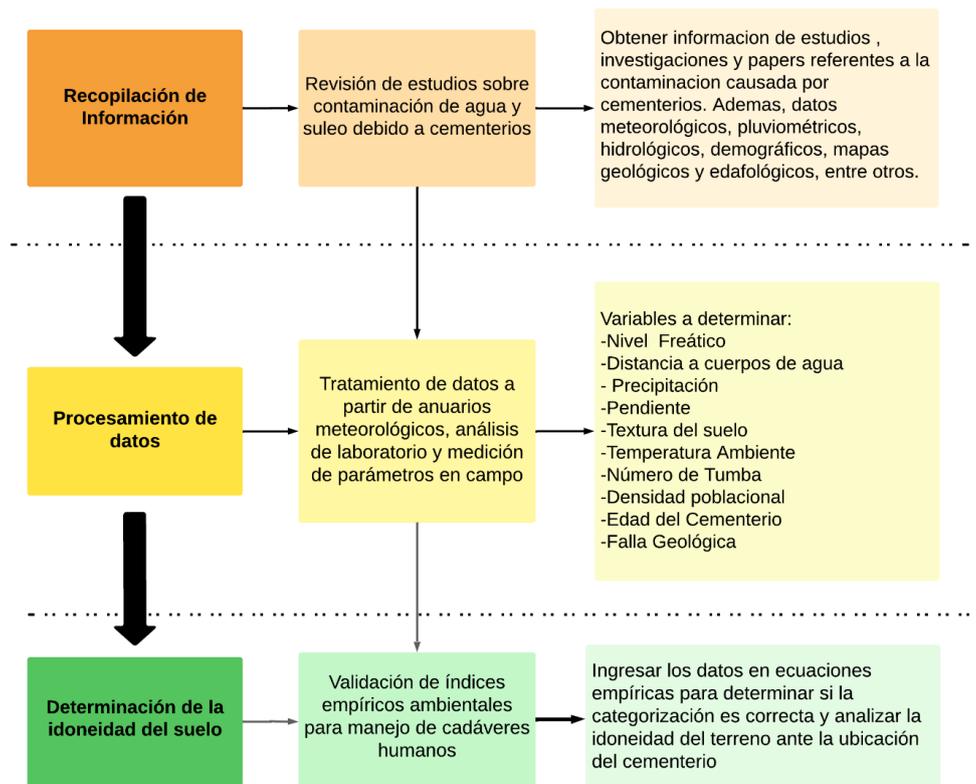


Figura 3. Metodología para la determinación de la idoneidad del suelo en zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas en la ubicación de un cementerio

Fuente: Autor

2.1 Descripción del área de estudio

El presente trabajo se desarrolla en el Ecuador, región Sierra, provincia Pichincha, específicamente, en los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui. La selección de cementerios se hizo en base a criterios establecido en estudios previos dentro de estas zonas (Arcos, 2020; Guayasamín, 2021), los cuales fueron categorizados en función de 5 niveles: completamente adecuado, muy adecuado, moderadamente adecuado, ligeramente adecuado y no adecuado.

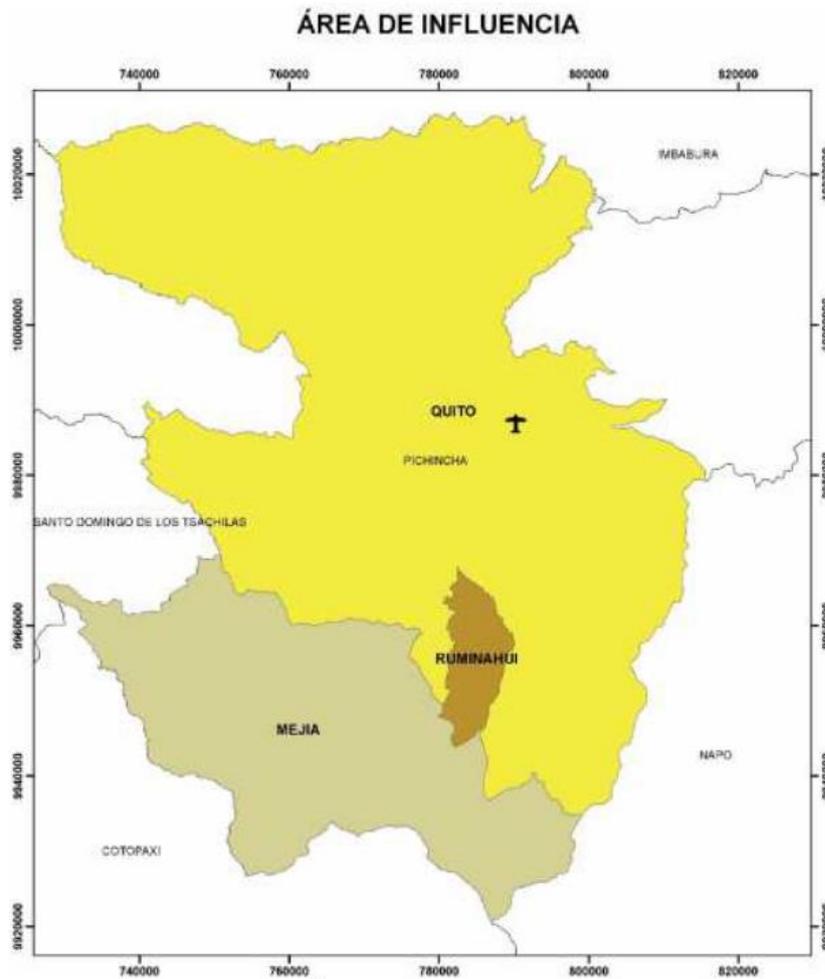


Figura 4. Mapa de ubicación de las zonas de estudio

Fuente: (Arcos, 2020)

Inicialmente, se tenía una base de datos con 71 cementerios clasificados, sin embargo, se tomaron 3 cementerios por cada categoría con el fin de lograr establecer una tendencia estadística, además, se consideró la accesibilidad, autorizaciones para el ingreso y toma de muestra, costos y disponibilidad de personas para las mediciones en campo.

2.2 Delimitación del área de estudio

En los 15 cementerios seleccionados, se realizaron visita en campo para identificar los puntos de muestreo, accesibilidad, seguridad y autorizaciones para ingresar con los equipos de muestreo por parte de los administradores de cada cementerio. No obstante, en el cementerio Jardines del Valle, ubicado en el cantón Rumiñahui, al ser un cementerio privado, no se logró obtener la autorización para el muestreo, del mismo modo con el cementerio de Ayapamba La Capilla, motivo por el cual fueron descartados del presente estudio, quedando una totalidad de 13 cementerios. De los 13 cementerios, se tomaron los 6 cementerios correspondientes a las categorías de ligeramente adecuados y no adecuados para el desarrollo del presente estudio. A continuación, se presenta la Tabla 1, donde se indica un listado de los cementerios aptos para el muestreo.

Tabla 1. Listado de cementerios no adecuados y ligeramente adecuados

Cementerio	Parroquia	Cantón	Categoría	Coordenadas	
				Norte	Este
Nanegal	Nanegal	Quito	No Adecuado	15446	758562
Chillogallo - La Libertad	Chillogallo	Quito	No Adecuado	9968440	769449
Tambillo	Tambillo	Mejia	No Adecuado	9955226	772736
Lumbisí	Cumbaya	Quito	Ligeramente Adecuado	9974292	783514
Aloasí	Aloasí	Mejia	Ligeramente Adecuado	9942841	768561
Uyumbicho	Uyumbicho	Mejia	Ligeramente Adecuado	9957708	775842

Elaborado por: Autor

A demás, en la Figura 5 se presenta un mapa con la localización de los cementerios.

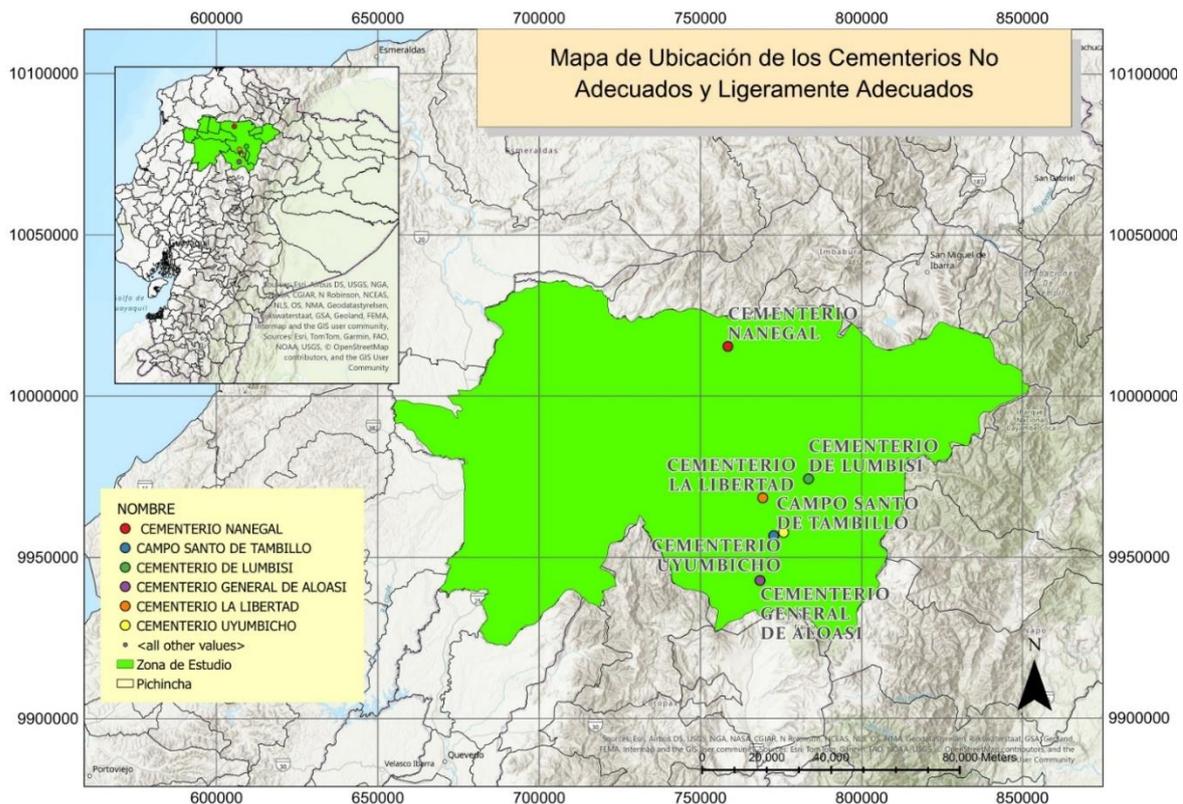


Figura 5. Mapa de ubicación de cementerios no adecuados y ligeramente adecuados

Fuente: Autor

2.3 Obtención de la Muestra

Para la localización de los puntos de muestreo se realiza el plan de muestreo definiendo el equipo, materiales y personal necesario para tomar las muestras y medir los parámetros in situ, además del personal necesario y el transporte de las muestras hasta el laboratorio.

- **Plan de muestreo**

Primeramente, se analizó la pendiente de la zona en la que está ubicado el cementerio; en el lugar donde existía una mayor elevación se ubicó el primer punto de muestreo, posteriormente, se trazó una trayectoria hasta el punto con menor elevación y límite del cementerio, colocando ahí un punto de muestreo y otro en la mitad de la trayectoria, teniendo 3 puntos de muestreo en total, es importante tener en cuenta que muestreo se realizó en la época seca.

El primer punto de muestreo con mayor elevación, debe de encontrarse alejado de las tumbas, mientras que, el segundo punto de muestreo debe estar en una zona con presencia de tumbas en tierra con fechas desde 2018-2023, dichos años son los que tienen mayor probabilidad de presentar presencia de contaminantes por el tiempo de

descomposición de los cuerpos. Finalmente, el último punto es el de menor elevación y cercano a los límites del cementerio.

El uso de la herramienta Google Earth permitió identificar los puntos de muestreo y las vías de acceso para el ingreso y toma de muestras, como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Mapa de ubicación de puntos de muestreo Cementerio de Nanegal

Fuente: Autor

- **Materiales y Equipos**

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| ✓ Fundas Ziploc | ✓ Espátula |
| ✓ Etiquetas | ✓ Coolers |
| ✓ GPS | ✓ Hielo |
| ✓ Esferos | ✓ Equipo de perforación |
| ✓ Hoja cadena de custodia | ✓ Martillo |
| ✓ Pala pequeña | ✓ Guantes de nitrilo |
| ✓ Cuerdas | |
| ✓ Barreno | |

A continuación, en la Figura 7 se muestra instalación del equipo de perforación.



Figura 7. Equipo de perforación

Fuente: Autor

- **Toma de muestra de suelo**

Para la toma de muestra se utilizó el equipo de perforación para ensayos SPT (Ensayo de Penetración de Estándar) con el fin de tomar muestras puntuales a diferentes profundidades. El equipo está compuesto por un trípode, una cuchareta para la recolección de las muestras, el barreno que es introducido al suelo por medio de golpes de un martillo grande, cuerdas para sujetar el martillo, la cuchareta y un motor para el manejo del martillo al momento de que ingresa la cuchareta al suelo. Se tomaron 9 muestras de suelo por cada cementerio; una antes del cementerio, otra en el cementerio cercana a las tumbas en suelo y una después del cementerio. Y en cada uno de estos puntos se tomaron muestras a 2 m, 2.5 m y 3 m de profundidad.

- **Manejo de las muestras**

Después del ingreso del equipo de perforación con la cuchareta a los primeros 2 m de profundidad se extrae la muestra en una funda ziploc (la persona que toma la muestra deberá llevar guantes de nitrilo para evitar contaminar la muestra), la funda ziploc debe estar correctamente etiquetada (código de la muestra, nombre del cementerio, responsable, profundidad, ubicación del punto de muestreo y hora) y se coloca la muestra para homogenizarla y guardarle en el cooler. Se realiza el mismo procedimiento para las profundidades de 2.5 m y 3 m de profundidad, en la Figura 8 se puede observar el almacenamiento de las muestras.



Figura 8. Muestras etiquetadas y almacenadas en el cooler previo al transporte al Laboratorio.

Fuente: Autor

2.4 Datos de variables ambientales y geográficas

Las variables a analizar en el presente estudio son:

2.4.1. Nivel Freático

Los valores correspondientes al nivel freático fueron medidos en campo con un equipo modelo WDJJ-4 Multi-function Digital DC Resistivity/IP Meter que se maneja con el método 4P-VES (Schlumberger); se muestra una serie de gráficas sobre las lecturas del nivel freático para después observarlos utilizando Software EarthImager 1D Versión 2.0.5 1D Resistivity Inversión Software (Figura 9)(M. Falconí, comunicación personal, 2023).

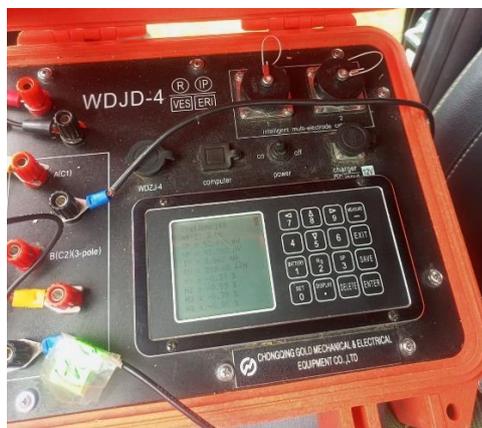


Figura 9. Equipo modelo WDJJ-4 Multi-function Digital DC Resistivity/IP Meter

Fuente: (M. Falconí, comunicación personal, 2023)

Este equipo da como resultado una gráfica, cada gráfica representa la resistencia vs la profundidad de cada cementerio en función al punto de medición, además, está vinculado a una escala cromática para establecer las relación entre los valores del modelo y la ubicación del nivel freático en función de la profundidad (Guayasamín, 2021).

2.4.2. Distancia a cuerpos de agua

La distancia a cuerpos de agua es una de las variables más importantes, debido a que es el destino final de los lixiviados producidos a los cementerios. Este valor se obtuvo utilizando Google Earth. En primer lugar, se identifica la zona de estudio, en este caso el cementerio, en base a la dirección de la migración del contaminante se determina el cuerpo de agua más cercano y se mide de forma lineal la distancia entre ambos puntos (Figura 10).



Figura 10. Determinación de la distancia lineal entre el cementerio de Nanegal y el Río Alambí

Fuente: Autor

2.4.3. Precipitación

El valor de esta variable influye en la composición del contaminante, además de su transporte en el suelo. Para poder tener un valor representativo que refleje la realidad de lo que ocurre en la zona, los valores fueron recopilados del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que datan los últimos 11 años registrados.

En primer lugar, se identificaron las estaciones más cercanas a los cementerios pertenecientes a las categorías de no adecuado y ligeramente adecuado. Luego, se recopilaron los valores de precipitación desde el año 2003 hasta el año 2014, durante todos los meses. Con esta información se calcula la precipitación anual, después de tener estos 11 datos se determina el promedio y se obtiene la precipitación promedio multianual (mm/año), para después recopilar esta información en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de precipitación promedio multianual y sus máximos.

Cementerio	Estación meteorológica	Precipitación promedio multianual (mm/año)
Nanegal	Nanegalito	2139
Chillogallo - La Libertad	San Juan	1347
Tambillo	Izobamba	1420
Lumbisí	La Tola	841
Aloasí	Cotopaxi Clirsén	1084
Uyumbicho	Uyumbicho	1401

Elaborado por: Autor

2.4.4. Pendiente

Este valor fue medido en campo con ayuda de un clinómetro AL03 con el que se tomaron valores en grados de inclinación, los cuales, para propósito del presente estudio se realizó la respectiva conversión a valores de porcentaje de pendiente. Además, se realizó una comprobación utilizando la herramienta ArcGis Pro, un DEM de la provincia de Pichincha y se realizó la reclasificación del mismo en base a la categorización ubicada en la Tabla 3 y utilizando la herramienta slope del mismo software se obtuvo un mapa de pendientes (Figura 11) que muestra la pendiente correspondiente a cada cementerio a analizar.

Tabla 3. Valores de pendiente para la reclasificación

Criterio	Pendiente (%)	Valor	Categoría
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

Elaborado por: Autor

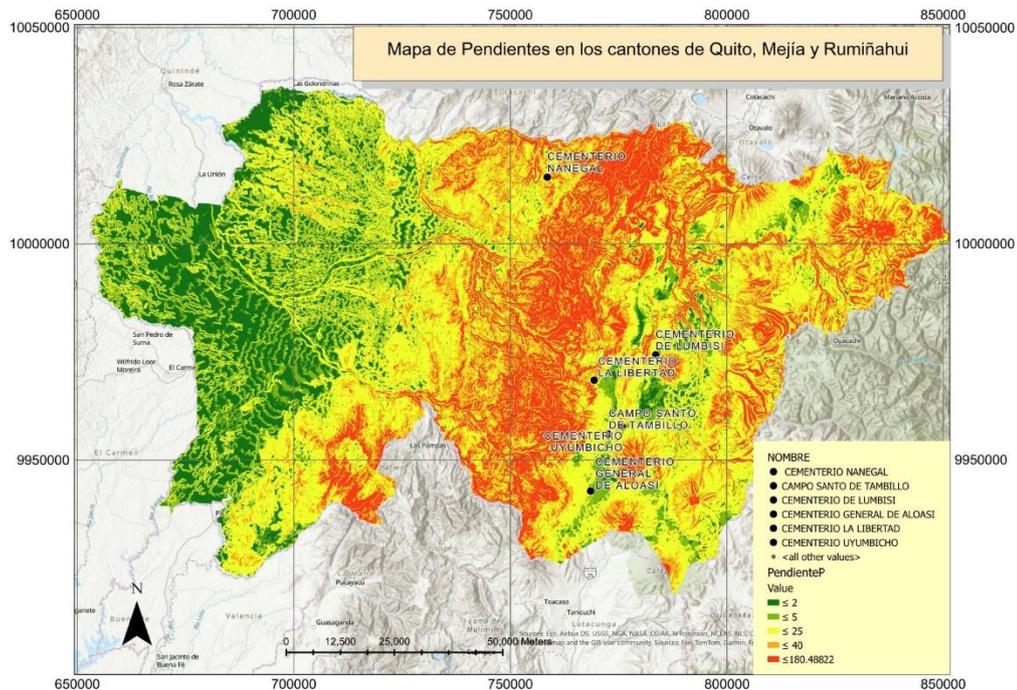


Figura 11. Mapa de pendiente con la ubicación de los cementerios no adecuados y ligeramente adecuados

Fuente: Autor

2.4.5. Textura del suelo

El procedimiento para la determinación de la textura de suelo se realizó en base a la normativa ASTM D-422, es un análisis granulométrico de suelo por tamizado. Este método es de carácter cuantitativo, pues se determina la distribución de los tamaños de las partículas de los suelos (Tabla 3).

Tabla 4. Tamaños de las partículas de los suelos

Número de Malla	Abertura (mm)	Abertura (pulg)
40	0.42	0.0165
200	0.074	0.0029
325	0.044	0.0017
400	0.037	0.0014

Elaborado por: Autor

Para el presente ensayo se requiere de un horno de secado, una balanza, taras, brochas y una serie de tamices según la Tabla 3. En primer lugar, se pesan las muestras, aproximadamente entre 40-60gr. Luego, las muestras son colocadas sobre el tamiz N° 40 y se lavan. El material que se retiene en cada tamiz se separa y seca en el horno durante 24 horas. Finalmente, en una balanza con sensibilidad de 0.1% se identifica el peso de cada fracción, el peso inicial de la muestra y la suma de los pesos de todas las fracciones no debe de variar en más del 1%.

Con la siguiente ecuación, se calcula el porcentaje retenido en cada tamiz.

$$\%retenido = \frac{W_{tamiz}}{W_{muestra}} \times 100$$

Ecuación 1

Donde,

$$w_{tamiz} = \text{peso de partículas retenidas en el tamiz}$$

$$w_{muestra} = \text{peso inicial de la muestra}$$

Al determinar el porcentaje de suelo en cada tamiz, se realiza una clasificación en función del tamaño de partícula: arena, limos y finos. Una vez obtenido estos valores, se aplica el método del triángulo textural establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y se define la clase textural la cual pertenece cada muestra.

2.4.6. Temperatura Ambiente

El tratamiento de datos para la temperatura es similar al de precipitaciones, sin embargo, para este caso se toman los datos del Atlas Climático Pichincha (Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha & Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2010). El análisis de datos se realiza con los valores de temperatura media anual desde el año 1981 hasta el año 2010, con el fin de que sean valores representativos de las zonas donde se encuentran los cementerios. Además, en campo se tomaron las temperaturas ambientales el día del muestreo, los cuales se encuentran en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores de temperatura por cementerio

Cementerio	Temperaturas (1981-2010) (°C)	Temperatura en campo (°C)
Nanegal	19.3	24
Chillogallo - La Libertad	11.9	14
Tambillo	11.9	21
Lumbisí	15.6	15
Aloasí	12.7	7
Uyumbicho	14	7

Elaborado por: Autor

2.4.7. Número de Tumba y Año de creación del Cementerio

Los datos obtenidos son bibliográficos: de estudios anteriores elaborados por (Crisanto-Perrazo et al., 2022) y, (Guayasamín, 2021) además de planes de ordenamiento territorial y páginas web que contenían información de algunos de los cementerios.

2.4.8. Densidad poblacional

Los datos de densidad poblacional se determinaron con los valores estadísticos del último censo registrado el 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador (INEC). Por otra parte, los valores de superficie de cada zona donde están ubicados los cementerios se obtuvieron de los planes de ordenamiento territorial, tesis y otras investigaciones (Baroja, 2012; Chiguano, 2020; Instituto de la Ciudad, 2022; Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020; Quilumba, 2021) (Tabla 5).

Tabla 5. Valores de densidad poblacional

Cementerio	Población (Hab)	Superficie (km ²)	Densidad (Hab/km ²)
Cementerio de Nanegal	2636	245.7	10.7
Cementerio de La Libertad	28376	300	94.6
Cementerio de Tambillo	8319	46.3	179.6
Cementerio de Aloasí	9686	66.3	146.0
Cementerio de Lumbisí	4500	6	750.0
Cementerio Uyumbicho	4607	21.08	218.5

Elaborado por: Autor

2.4.9. Falla Geológica

Los datos de fallas geológicas se obtuvieron del Mapa de Fallas Geológicas disponible en el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018. Esta base de datos es integrada a la herramienta del sistema de Información Geográfica (ArcGis) y, ya con la ubicación de los cementerios se mide de forma lineal la menor distancia a la cual se encuentra la falla más cercana al cementerio (Figura 12).

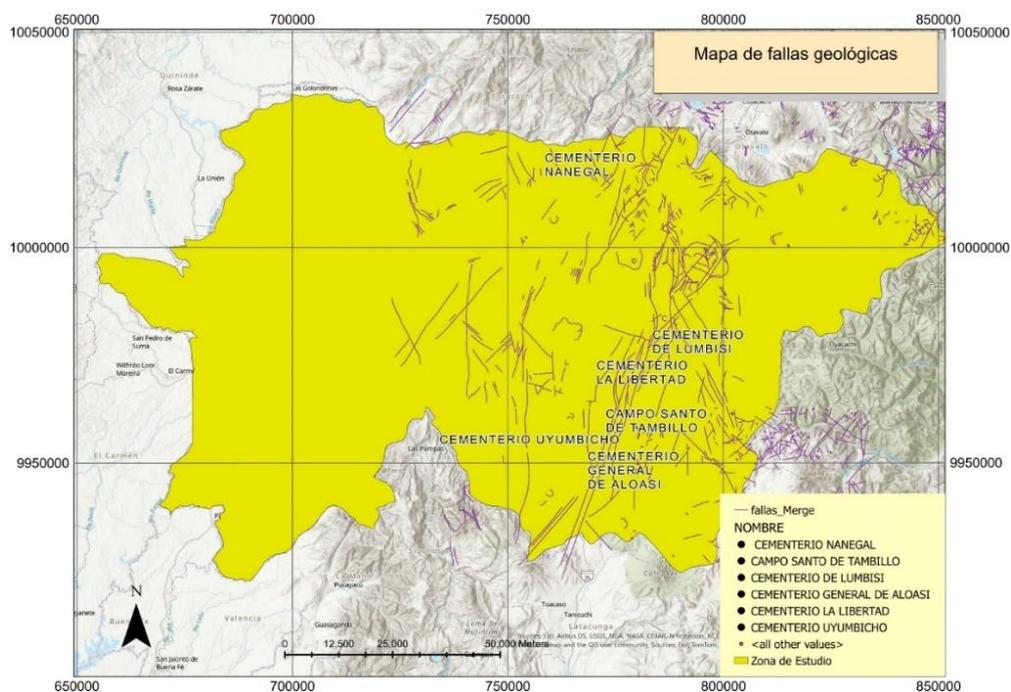


Figura 12. Mapa de fallas geológicas

Fuente: Autor

2.4.10. Ecuaciones lineales empíricas

De acuerdo al estudio elaborado por Guayasamín (2021), se obtuvieron una serie de ecuaciones empíricas lineales, donde cada variable tiene un peso referente a su grado de importancia con respecto a la influencia en la contaminación de cementerios en el área de ubicación. Las ecuaciones son las siguientes:

10 variables

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

Ecuación 2

9 variables

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

Ecuación 3

8 variables

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

Ecuación 4

7 variables

$$X = 0,3543A + 0,2392B + 0,1573C + 0,1017D + 0,0650E + 0,0413E + 0,0413F$$

Ecuación 5

6 variables

$$X = 0,3825A + 0,2504B + 0,1596C + 0,1006D + 0,0641E + 0,0428E$$

Ecuación 6

5 variables

$$X = 0,4185A + 0,2625B + 0,1599C + 0,0973D + 0,0618E$$

Ecuación 7

4 variables

$$X = 0,4673A + 0,2772B + 0,1601C + 0,0954D$$

Ecuación 8

3 variables

$$X = 0,5396A + 0,2970B + 0,1634C$$

Ecuación 9

2 variables

$$X = 0,6667A + 0,3333B$$

Ecuación 10

Donde:

A= Nivel freático, B= Distancia a fuentes de agua, C= Precipitación, D= Pendiente E= Tipo de suelo, F= Edad del cementerio, G= Temperatura, H= Número de tumbas, I= Falla Geológica, J= Densidad Poblacional

Cabe recalcar que las ecuaciones están planteadas para diferente número de variables por lo que la categorización se debe cumplir teniendo, tanto las 10 variables como teniendo únicamente 2 variables.

2.4.11. Estandarización de variables y categorías

Según Guayasamín (2021), si el valor de “X”, al utilizar cada ecuación , da como resultado valores entre 4.01 a 5.00, corresponde a la categoría de “No Adecuado”; mientras que, si los resultados dan valores entre 3.01 a 4.00, corresponde a la categoría de “Ligeramente Adecuado”; si el valor esta entre 2.01 a 3.00, corresponde a la categoría “Moderadamente Adecuado” ; un valor entre el 1.01 a 2.00, corresponde a la categoría “Muy Adecuado”; finalmente, si la ecuación da como resultado valores entre 0.00 a 1.00, corresponde a la categoría “Completamente Adecuado”. Sin embargo, para el presente estudio se enfocará en las categorías “Ligeramente Adecuado” y “No Adecuado”.

A partir de los valores y las categorías obtenidas de cada variable ambiental y geológica se considera añadir la simbología correspondiente para facilitar la comprensión del nivel de afectación que ejerce cada una en la categorización respectiva al cementerio siguiendo los establecido por Arcos (2020) en la Tabla 16, Figura 13, y Guayasamín (2021) en la Tabla 7, Figura 14.

Valor	Categoría	Simbología
5	No adecuado	
4	Ligeramente adecuado	
3	Moderadamente adecuado	
2	Muy adecuado	
1	Completamente adecuado	

Figura 13. Estandarización de variables

Fuente: (Arcos, 2020)

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

Figura 14. Variables, criterios y estandarización

Fuente: (Guayasamín, 2021)

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

Figura 14. Variables, criterios y estandarización

Fuente: (Guayasamín, 2021)

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Para realizar la validación de los índices empíricos ambientales, es importante organizar los datos de las variables recopilados en el desarrollo de la metodología para la época seca, los cuales se obtuvieron a partir de un procesamiento de datos bibliográficos como es el caso de la precipitación, pendiente, temperatura y densidad poblacional; análisis de datos geoespaciales como las distancias a cuerpos de agua y fallas geológicas; mediciones en campo como el nivel freático; resultados experimentales de laboratorio como la textura de suelo para identificar el tipo de suelo e información recopilada en visitas en campo como el número de tumbas y año de creación de los cementerios.

Partiendo de esta información, se creó una hoja Excel donde se ordenaron los datos obtenidos de cada variable correspondiente al cementerio a analizar dentro de las categorías “No Adecuado” y “Ligeramente Adecuado”; de manera vertical se encuentran detallados los parámetros o variables ambientales y geológicas, mientras que, de manera horizontal están ubicados los cementerios a analizar en el presente estudio, identificados con color rojo los de categoría “No Adecuado” y de color naranja los de categoría “Ligeramente Adecuado”, simbología de acuerdo a la Figura 13.

Al recopilar la información es importante tener en cuenta las unidades de medida pues el uso de diferentes softwares, así como las otras fuentes de información, mapas, censos y demás usan diferentes sistemas de unidades y para realizar la comparación de los mismos, estos deben de tener valores en las mismas unidades de medida, incluso para facilitar la comprensión de quienes lleguen a leer el presente estudio, ya que sin el conocimiento de las unidades de medida con la que se midió cada variable podría generar confusión y dudas en cada criterio. Además, cada variable está ubicada de acuerdo al nivel de importancia dado por la matriz de prioridades y la matriz de Saaty, cada variable está identificada según letras del abecedario, en orden alfabético.

A continuación, se presenta la Tabla 6 resultado de la recopilación de los valores ambientales y geológicos elaborada en un documento formato Excel, con los datos que fueron obtenidos a través de cada método mencionado con anterioridad y debido a la estructura de la tabla se permite observar y comparar los valores de cada variable en función del cementerio, a breves rasgos, para tener una idea de lo que está sucediendo entre la variable y el cementerio.

Tabla 6. Valores de las variables ambientales y geológicas

Cementerios		Nanegal	Chillogallo - La Libertad	Tambillo	Lumbisí	Aloasí	Uyumbicho
Parámetros	Nivel Freático (A) (m)	3.83	2.95	4.22	2.18	4.91	2.47
	Distancia a fuentes de agua (B) (m)	146.63	402.28	586.46	701.08	187.58	1118.75
	Precipitación (C) (mm)	2148.51	1323.10	1372.45	841.19	1000.36	1293.10
	Pendiente (D) (%)	15.75	10.25	16.32	12.87	5.25	8.07
	Tipo de Suelo (E)	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Arcillosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa	Franco arcillo arenosa
	Año de Creación (F)	1970	1994	1950	1970	1950	1940
	Temperatura (G) (°C)	19.3	11.9	11.9	15.6	12.7	14
	Número de Tumbas (H)	500	130	2000	200	1000	1000
	Falla Geológica (I) (km)	1.64	1.31	0.54	1.24	0.27	0.43
	Densidad Poblacional (J) (hab/km ²)	11	95	180	146	750	219

Al observar la Tabla 6 se puede evidenciar que los valores de nivel freático se encuentran entre 2 m a 4 m, siendo los datos con mayor influencia en la categorización del cementerio; por otra parte, las distancias a cuerpos de agua son mayores a 100 m, variable con alta ponderación y considera la repercusión que podría dar el cementerio con respecto al recurso agua. Además, se puede identificar que para estos cementerios críticos la pendiente no sobrepasa del 17%, y existe una predominancia del tipo de suelo franco arcillo

arenosos, a pesar de que en el cementerio de Tambillo el suelo es de tipo arcilloso. En el caso de las precipitaciones, la mayoría son altas; por sobre los 1000 mm anuales a excepción del cementerio de Lumbisí cuyas precipitaciones medias son de 841.19 mm, no obstante, sigue siendo una precipitación alta.

Con respecto al año de creación, los cementerios, tienen edades de 30, 50, 70 y 80 años, es decir, son cementerios bastante antiguos donde se pudo evidenciar que realizaban sepultura a tierra y en nichos, como se indica en la figura 15. Cabe mencionar que en cada uno de los cementerios la administración correspondía a un encargado particular de la parroquia y en otros casos, correspondía al sacerdote a cargo de la iglesia de la parroquia. Finalmente, con respecto a la densidad poblacional, la diferencia cuantitativa es alta, siendo los cementerios “Ligeramente Adecuados” los que tienen una mayor densidad poblacional en comparación con los “No adecuados” pero debido a la ponderación de la variable, esta tiene una prioridad baja y es de menor influencia en el resultado final de la categoría del cementerio.

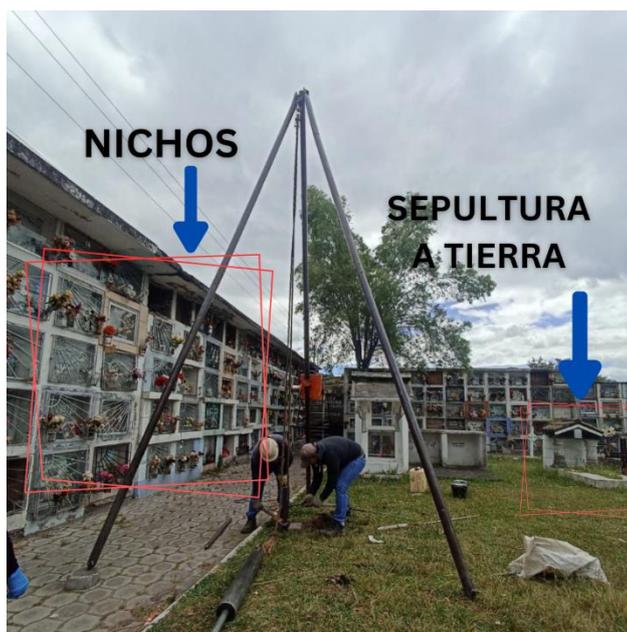


Figura 15. Nichos y sepultura en tierra

A partir del análisis y recopilación de datos con respecto a las variables ambientales y geológicas, establecidos en la Tabla 6, y utilizando la categorización según Guayasamín (2021) para cada una de ellas, Figura 14, se automatiza el documento Excel para obtener el valor del criterio y la categoría a la que pertenece. Además de que, pinte cada celda de acuerdo a la simbología establecida por Arcos (2020) y Guayasamín (2021), dando como resultado la Tabla 7, como se muestra a continuación:

Tabla 7. Resultados de la categorización por variable ambiental y geográfica

VARIABLE		Cementerio Nanegal			Cementerio Chillogallo – La Libertad			Cementerio Tambillo			Cementerio Lumbisí			Cementerio Aloasí			Cementerio Uyumbicho		
		CRITERIO	VALOR	CATEGORÍA	CRITERIO	VALOR	CATEGORÍA	CRITERIO	VALOR	CATEGORÍA	CRITERIO	VALOR	CATEGORÍA	CRITERIO	VALOR	CATEGORÍA	CRITERIO	VALOR	CATEGORÍA
A	Nivel Freático (m)	3,83	2	Muy adecuado	2,95	3	Moderadamente adecuado	4,22	2	Muy adecuado	2,18	4	Ligeramente adecuado	4,91	1	Completamente adecuado	2,47	4	Ligeramente adecuado
B	Hidrografía (m)	146,63	5	No adecuado	402,28	4	Ligeramente adecuado	586,46	3	Moderadamente adecuado	701,08	3	Moderadamente adecuado	187,58	5	No adecuado	1118,75	3	Moderadamente adecuado
C	Precipitación (mm)	2148,51	4	Ligeramente adecuado	1323,1	3	Moderadamente adecuado	1372,45	3	Moderadamente adecuado	841,19	2	Muy adecuado	1000,36	3	Moderadamente adecuado	1293,1	3	Moderadamente adecuado
D	Pendiente (%)	15,75	3	Moderadamente adecuado	10,25	3	Moderadamente adecuado	16,32	3	Moderadamente adecuado	12,87	3	Moderadamente adecuado	5,25	3	Moderadamente adecuado	8,07	3	Moderadamente adecuado
E	Textura del Suelo	franco arcillo arenoso	3	Moderadamente adecuado	franco arcillo arenoso	3	Moderadamente adecuado	arcilloso	1	Completamente adecuado	franco arcillo arenoso	3	Moderadamente adecuado	franco arcillo arenoso	3	Moderadamente adecuado	franco arcillo arenoso	3	Moderadamente adecuado
F	Edad del cementerio(año)	1970	3	Moderadamente adecuado	1994	2	Muy adecuado	1950	3	Moderadamente adecuado	1970	3	Moderadamente adecuado	1950	3	Moderadamente adecuado	1940	3	Moderadamente adecuado
G	Temperatura Ambiente (°C)	19,3	4	Ligeramente adecuado	11,9	3	Moderadamente adecuado	11,9	3	Moderadamente adecuado	15,6	4	Ligeramente adecuado	12,7	3	Moderadamente adecuado	14	3	Moderadamente adecuado
H	Número de tumbas(und)	500	1	Completamente adecuado	130	1	Completamente adecuado	2000	2	Muy adecuado	200	1	Completamente adecuado	1000	1	Completamente adecuado	1000	1	Completamente adecuado
I	Falla geológica (km)	1,64	5	No adecuado	1,31	5	No adecuado	0,54	5	No adecuado	1,24	5	No adecuado	0,27	5	No adecuado	0,43	5	No adecuado
J	Densidad poblacional (hab/km²)	11	2	Muy adecuado	95	4	Ligeramente adecuado	180	5	No adecuado	146	4	Ligeramente adecuado	750	5	No adecuado	219	5	No adecuado

Como se puede observar en la Tabla 7, cada variable toma un valor en base a la categoría a la que corresponde, sin embargo, al observar la categoría del cementerio como tal, existen pocas variables alineadas para obtener el resultado final deseado. Motivo por el cual se realiza un análisis de cada variable tomando en cuenta diversos factores que pueden haber afectado estos datos.

Nivel freático

El cementerio de Nanegal tiene un nivel freático de 3.83 m, correspondiente a un valor de 2 y una categoría de muy adecuado según la categorización establecido por Guayasamín (2021). Al compararlo con el Acuerdo Ministerial 3523, correspondiente a la Normativa Ecuatoriana, cumple con este parámetro; ya que como mínimo el nivel freático debe estar a 2.50 m de profundidad, por lo tanto, existe una diferencia de 1.33 m, lo que hace que esta variable sea muy adecuada. Si se recurre a normativa internacional, según Blake (2022), plantea que para el condado de Flintshire, Reino Unido, la profundidad del nivel freático podrá ser de 1.37 m, 1.8 m y 2.4 m dependiendo de las condiciones del terreno y la seguridad y salud de los habitantes; por lo tanto, el nivel freático del cementerio de Nanegal no sobrepasa estos límites.

El nivel freático medido en campo de este cementerio está bien categorizado pero se encuentra tres niveles abajo de la categoría inicial del Cementerio de Nanegal (Crisanto-Perrazo et al., 2022; Guayasamín, 2021). Al comparar este nivel freático obtenido en campo, en la época seca, del presente estudio con el nivel freático, en época lluviosa, medido por Guayasamín (2021), existe una variación de 1.3 m, pues, va de 3.83 m a 2.53 m, es decir, disminuye tal nivel que cambia la categoría de la variable a Ligeramente adecuado con un valor de 4 y si se compara con el AM 3523, está bajo el valor mínimo establecido, por lo tanto, nos da como resultado que el Cementerio de Nanegal no es un lugar adecuado. En base a la experticia de la ingeniera Manciat, comunicación personal, (29 de enero de 2024) docente de la Escuela Politécnica Nacional, se plantea que el sistema del cementerio en relación al nivel freático puede variar dependiendo si este fue tomado en época lluvioso o época seca, ya que si está en superficie está sujeto a todo los fenómenos atmosféricos; por lo que si llueve puede subir, si no llueve puede bajar; podría tener una reacción más rápida si el sistema es más permeable, entre otras variaciones dependiendo de los factores que puedan llegar a afectar la medida. Por lo tanto, no se pueden comparar los valores de nivel freático en función de un error de medición o de la existencia de un nivel freático estático, sino que se hace hincapié en que la categoría del cementerio puede variar en función de la época en que se tomaron los datos, por lo tanto, se debería realizar un ajuste de cómo medir esta variable, la precisión de los datos o de

ser el caso medir la variable en ambas épocas para poder tener una idea más clara de cómo varía el nivel freático durante todo el año y poder dar un criterio de categorización.

En el caso del cementerio de Chillogallo - La Libertad, el nivel freático es de 2.95 m con un valor de 3 correspondiente a una categoría Moderadamente adecuado, esto en base a lo categorizado según el estudio de Guayasamín (2021). Utilizando el Acuerdo Ministerial 3523, se compara este criterio con los establecido según esta norma, y se evidencia que esta sobre el mínimo de 2.50 m, con una diferencia de 0.45 m lo cual mantiene seguro a los cuerpos de agua superficial y subterránea cercanos a la parroquia de Chillogallo. Además, en caso de comparar con la normativa internacional previamente mencionada, se tiene una diferencia entre ambos valores de 1.62 m con respecto al 1.37 m de profundidad establecido, por lo tanto, el nivel freático de este cementerio está sobre el límite cumpliendo con la ley.

Sin embargo, la categoría de esta variable baja en dos niveles con respecto a la categoría inicial del cementerio, lo cual repercutirá en el resultado final de la categorización ya con el dato medido en campo para el presente estudio. En el caso de Guayasamín (2021), al determinar esta variable obtiene que el nivel freático se encuentra entre valores de 3.53 m a 5.60 m, cumpliendo con la normativa ecuatoriana e incluso siendo categorizado como completamente adecuado, pero identificó una leve presencia de iones disueltos, lo cual afectaría y quedaría en una categorización de no adecuado.

El cementerio de Tambillo tiene un nivel freático de 4.22 m, cuyo valor es de 2 de acuerdo a la categoría muy adecuado (Guayasamín, 2021). Este dato es un criterio bastante alto con respecto a la normativa, pues al compararlo con el Acuerdo 3523 de la normativa ecuatoriana, está por sobre 1.72 m con respecto al valor mínimo de 2.50 m. Por lo tanto, esta variable está bien categorizada pero bastante alejada de la categoría del cementerio pues son tres niveles más debajo de la categoría no adecuada, a la que corresponde el cementerio de Tambillo. Además, si se lo compara con la normativa internacional del condado de Flintshire, Reino Unido, la diferencia es aún mayor con respecto al 1.37 m de profundidad, con 2.85 m, es decir, con respecto al nivel freático este cementerio está en una ubicación posiblemente apta, en contradicción con la categoría general de no adecuado (Blake, 2022).

Para el caso del cementerio de Lumbisí, el nivel freático es de 2.18 m correspondiente a la categoría de ligeramente adecuado con un valor de 2 (Guayasamín, 2021). Al comparar este valor con el valor mínimo de 2.50 m establecido en el Acuerdo Ministerial 3523, existe una diferencia de 0.32 m bajo el límite, por lo cual no cumple con la normativa, a pesar de

que su diferencia sea baja. Por otra parte, al comparar con el valor de 1.37 m de la normativa internacional del Reino Unido, estaría por sobre el valor mínimo y cumpliría, pero en el caso de tomar el valor de 2.40 m, tampoco cumpliría con esta normativa por lo cual la ubicación del cementerio podría afectar las aguas subterráneas de la zona.

Para este cementerio la categorización inicial establecida por Guayasamín (2021) fue de ligeramente adecuado, mientras que, la categoría de nivel freático medida en campo para el presente estudio, también corresponde a la misma categoría y al ser la variable con mayor ponderación para la determinación de la categoría del cementerio implicaría en un resultado favorable para la categorización.

Con respecto al cementerio de Aloasí, se evidencia un cambio de categoría drástico pues varía en tres niveles, ya que va de ligeramente adecuado a completamente adecuado, lo cual podría deberse a la época y datos de nivel freático utilizados. En el presente estudio, el valor de nivel freático es de 4.91 m, mientras que, para el estudio de Guayasamín (2021) no se establece el valor utilizado para la categorización. Por otra parte, es conveniente comparar el valor medido en campo con la normativa.

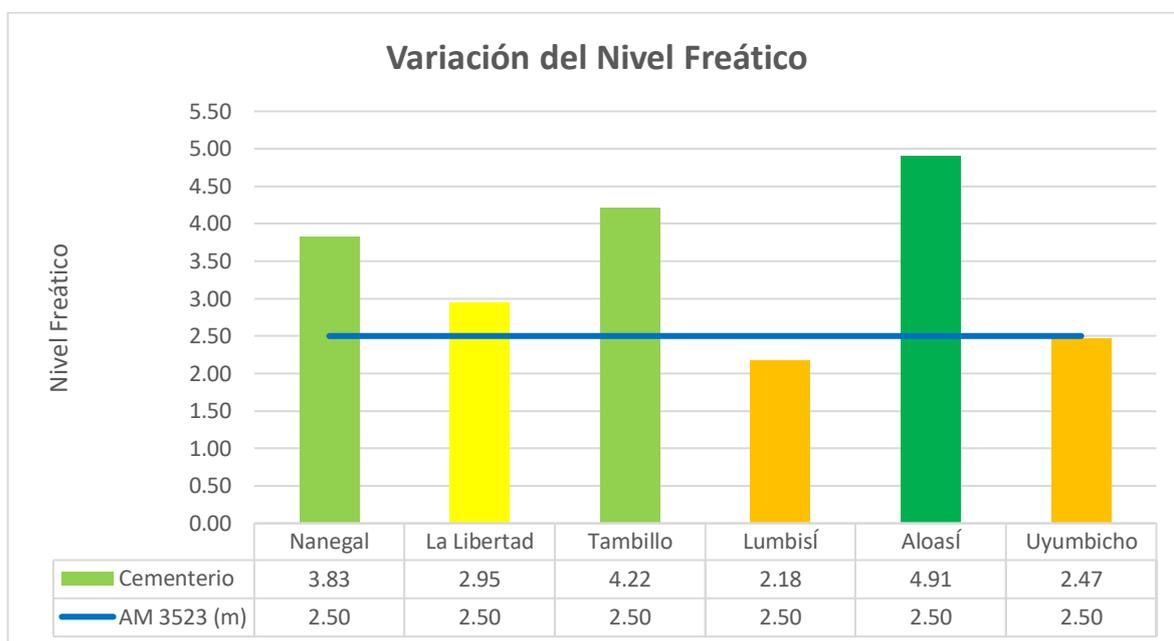
De acuerdo al Acuerdo Ministerial 3523, el nivel freático de este cementerio está por sobre 2.41 m del valor mínimo de 2.50 m, siendo casi el doble del mismo. Por otra parte, si se compara con la normativa internacional, para el valor de 1.37 m la diferencia es de 3.54 m; para el valor de 1.8 m la diferencia es de 3.11 m y para el valor de 2.40 m la diferencia es de 2.51. En todos los casos, el nivel freático medido en campo de este cementerio cumple con la normativa y debido a la zona de amortiguamiento que tiene los cuerpos de agua subterráneos tienen bajas probabilidades de ser afectados por el lixiviado que genere este cementerio, sin embargo, se debe tomar en cuenta que son análisis realizados para la época seca y que en época lluviosa podría disminuir esta profundidad.

El cementerio de Uyumbicho tiene un nivel freático de 2.47 m, con un valor de 4 y una categoría de Ligeramente adecuado según la categorización de Guayasamín (2021). Mediante el Acuerdo Ministerial 3523, el valor de nivel freático difiere en unos 0.03 m con el límite mínimo establecido. Sin embargo, al ser una diferencia bastante pequeña podría considerar más a fondo la ubicación del cementerio y no descartarlo de inmediato. Además, según la normativa internacional, con respecto al 1.37 m establecido, el presente cementerio si cumpliría, cabe recalcar que se debe tomar en cuenta las condiciones del terreno.

Con respecto a la categoría del cementerio en comparación con la categoría de la variable del nivel freático, ambos coinciden, es decir, la variable categorizada como ligeramente

adecuado coincide con las categorías de un cementerio ligeramente adecuado, implicando en un resultado favorable para la validación de las ecuaciones en este nivel de categorización.

Finalmente, debido a que el presente estudio es realizado dentro de la provincia de Pichincha, cantones Quito, Mejía y Rumiñahui pertenecientes al Ecuador, es correcto centrarse más en la normativa ecuatoriana. Por lo tanto, se elabora una gráfica (Gráfica 1) en función de resumir el comportamiento del nivel freático de los cementerios no adecuados y ligeramente adecuados en comparación con la normativa ecuatoriana, la cual se presenta a continuación:



Gráfica 1. Variación del nivel freático con respecto al AM 3523

Elaborado por: Autor

Como se puede evidenciar, los valores de nivel freático medidos en campo para el presente estudio durante la época seca muestran que los cementerios no adecuados sobrepasan el valor mínimo establecido por la norma, mientras que, dos de los tres cementerios ligeramente adecuados están por debajo del mínimo valor recomendado y solamente el cementerio de Aloasí sobrepasa este valor dentro de esta categoría. Por lo tanto, se puede decir que durante la época seca los cementerios de Nanegal, Tambillo y Aloasí no representa un efecto negativo con respecto a la afectación a aguas subterráneas, no obstante, los cementerios de La Libertad, Lumbisí y Uyumbicho si representa un riesgo para el recurso agua. Debido a que, como explica Zume (2011) si el nivel freático no es profundo es fácilmente susceptible a su variación durante época de lluvias y por tanto, puede llegar a facilitar el transporte de los lixiviados a aguas subterráneas.

Cabe recalcar que, según el Reglamento De Salas De Velación, Empresas Funerarias, Cementerios, Criptas, Inhumaciones, Exhumaciones, Cremación, Embalsamamiento, Formolización Y Transporte De Cadáveres Humanos de la norma ecuatoriana, Art. 24, la profundidad de enterramiento mínima será de 2 m cuando es un entierro directamente sobre la tierra y de 1.50 m si se utiliza una losa de hormigón, por lo tanto, si el nivel freático es menor a lo establecido por la normativa, claramente no sería adecuada la ubicación del cementerio, principalmente por el riesgo de contaminación al agua. Adicionalmente, en un caso de estudio realizado en China (Zhang, 2004), también establece que el nivel freático mínimo debe ser de 2.50 m con el fin de cubrir las condiciones necesarias para evitar contaminación a agua subterránea.

Otros estudios, establecen como mínimo un nivel freático de 1 m si los cuerpos enterrados no han sido sometidos a uso de preservantes o sustancias tóxicas nocivas, ya que a esta distancia no representarían un riesgo de propagación de enfermedades (Zychowski & Bryndal, 2014). Pero en estudios del cementerio de Areia Branca en Santos indicaron que debido a la poca profundidad del nivel freático existe una mala calidad de las aguas subterráneas (Zychowski & Bryndal, 2014). Además, según Pacheco (2000) la bacterias encontradas en las aguas subterráneas de varios cementerios se asocia a la litología de la zona, así como a la profundidad del nivel freático.

Varios de los cementerios no disponen de un sistema de recolección y tratamiento de necro lixiviados, efluentes con alto contenido de materia orgánica y sustancias inorgánicas provenientes de los ataúdes en los que son enterrados los cadáveres, lo que los convierte en fuentes potenciales de contaminación a las aguas subterráneas (Itodo et al., 2021).

Esto indica que la variable de nivel freático es de suma importancia para la determinación de un lugar adecuado para la construcción de un cementerio, considerando que esta variable tiene una ponderación de 29.51% (Guayasamín, 2021) los datos deben ser tratados con cautelo y responsabilidad, ya que podría repercutir en una mala toma de decisiones.

Distancia a cuerpos de agua

La distancia a cuerpos de agua es una variable con una ponderación de 21.26%, la segunda variable con mayor importancia para la determinación de la categoría del cementerio (Guayasamín, 2021).

El cementerio de Nanegal tiene una distancia al cuerpo de agua más cercano, el río Alambí, de 146.63 m con un valor de 5 correspondiente a la categoría de no adecuado según la

categorización establecida por Guayasamín (2021). Mientras que, para estudios previos la distancia al río Alambí es de 134 m (Guayasamín, 2021). Ambos valores tienen una diferencia de 12.63 m, variación que se considera aceptable con respecto a longitud del río con respecto al cementerio.

Por otra parte, al comparar ambos criterios con la normativa ambiental ecuatoriana; la cual establece que el mínimo valor para la distancia de aguas de consumo, ríos, manantiales o canales de riego es de 200 m, se evidencia que ambos criterios están por debajo de la norma, es decir, no cumple con este requerimiento y por tanto corresponden a la categoría de no adecuado, que evidentemente coincide la categoría de la variable con la categoría del cementerio.

Existe normativa con respecto a la sepultura bajo suelo en Lima, Perú, el Reglamento de Cementerios y Servicios Funerarios (DS. N° 03-94-SA) (06/10/1994) (Espinoza, 2007), donde en el art 15, establece que la sepultura del cadáver en el cementerio se realizará en un área ubicada a más de 10 m de distancia de un río, manantial o canal de riego. Por lo tanto, si se compara los valores del presente estudio y de los estudios previos con esta normativa da como resultado que, si cumplen con el requerimiento mínimo de distancia y, por tanto, esto repercutiría en la categorización del Cementerio de Nanegal. Cabe recalcar que esto varía en función de las características del terreno.

Además, con respecto a Crisanto-Perrazo et al. (2022) la variable de la distancia a un cuerpo de agua también fue catalogada como categoría no adecuada. Este resultado es favorable ya que se mantiene en los tres estudios, además, considerando que es una variable con una alta ponderación repercute en el resultado de la categoría del cementerio.

El cementerio de Chillogallo – La Libertad tiene una distancia al cuerpo de agua más cercano de 402,28 m con un valor de 4 correspondiente a la categoría ligeramente adecuado (Guayasamín, 2021). Cabe recalcar que, el cuerpo de agua se identificó en la visita a campo pues en el Google Earth no se lo podía evidenciar con claridad, ya que, proviene de una quebrada y su caudal es pequeño en comparación del tamaño de la quebrada.

Si se compara la distancia del cuerpo de agua con el Acuerdo Ministerial 3523, donde establece un valor mínimo de distancia de 200 m, existe una diferencia de 202.28 m, es decir, supera el nivel mínimo recomendable en más de un 100%. Por otra parte, si se compara con la normativa de Perú, la diferencia es aún mayor, de 392.28 m, sin embargo, se debe tener en cuenta que las condiciones del terreno varían al ser países diferentes.

Con respecto a la categoría de la variable con respecto a la categoría del cementerio, la variable disminuye en un nivel, pasando de no adecuado a ligeramente adecuado. Dado el hecho de que ambas categorías son críticas, la diferencia podría deberse a la precisión de datos.

Para el cementerio de Tambillo, la variable de distancia al cuerpo de agua es de 586,46 m correspondiente al valor 3 de la categoría moderadamente adecuado (Guayasamín, 2021), Se puede notar que existe, también, una disminución de la categoría de la variable con respecto a la categoría del cementerio pues la distancia es aún mayor, lo que implica que vaya disminuyendo de categoría en función de la ubicación y la afectación al agua superficial y subterránea.

Si se analiza la distancia al cuerpo de agua del cementerio de Tambillo con respecto a la normativa ecuatoriana, esta sobrepasa el valor mínimo y por tanto cumple con la normativa. Por otra parte, si se compara el mismo valor con la normativa peruana como se realizó con los anteriores cementerios, también supera el límite de esta normativa. Es importante tener en cuenta que en el mundo existen otras normativas con criterios diferentes y que se realiza esta comparación para tener una idea de cómo funciona el ordenamiento territorial de otros lugares con respecto a la ubicación de los cementerios y el recurso hídrico.

Para el cementerio de Lumbisí la distancia al cuerpo es de 701,08 m con un valor de 3, categoría moderadamente adecuado según la categorización establecida (Guayasamín, 2021). Para este caso disminuye la categoría un nivel más abajo debido a que el cementerio de Lumbisí está en una categoría Ligeramente adecuado.

Si se compara este criterio con lo establecido en el Acuerdo Ministerial 3523 de la normativa ecuatoriana, sobrepasa el valor mínimo de 200 m, cumpliendo con este requerimiento y manteniendo la seguridad de la fuente hídrica y la salud de la población. Si utilizamos normativa internacional para analizar este criterio, se tiene que la Organización Mundial de la Salud, Oficina Regional para Europa, la distancia para fuentes de agua potable es de 250 m de distancia y para manantiales u otros cursos de agua la distancia es de 10 m (Miller & Wiens, 2017), por lo tanto, el cementerio de Lumbisí cumple con estas normativas ya que está por sobre ambos valores.

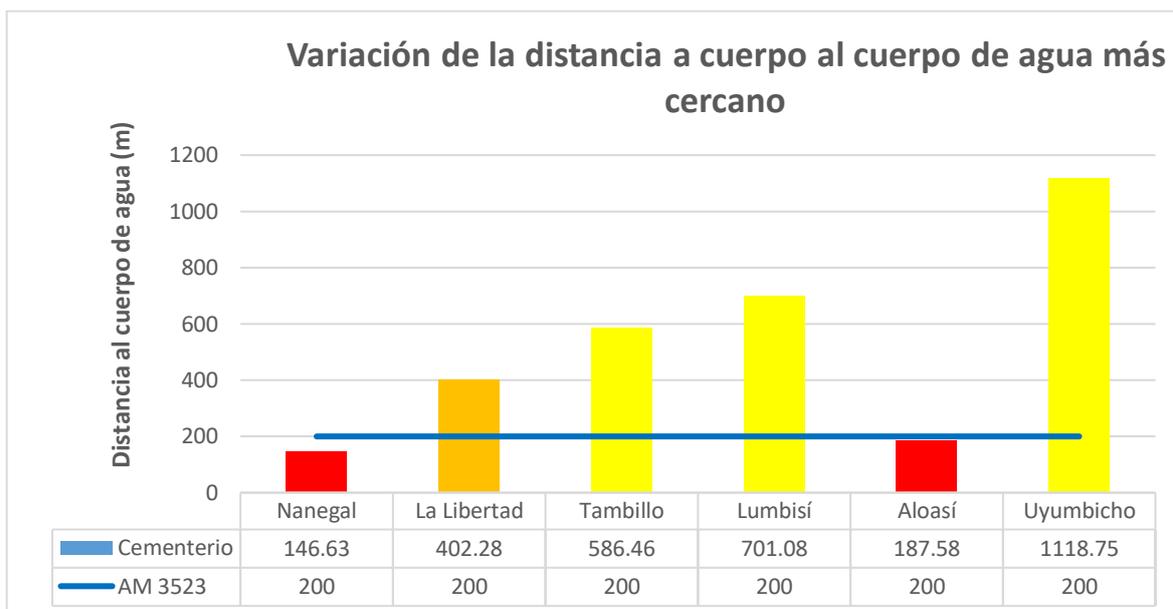
Con respecto al cementerio de Aloasí la distancia al cuerpo de agua más cercano es de 187,58 m con un valor de 5 correspondiente a la categoría no adecuado según lo establecido (Guayasamín, 2021). En este caso, sucede lo contrario a los otros cementerios, la categoría de la variable aumenta en un nivel a la categoría del cementerio, pues como se observa la distancia disminuye en comparar con el cementerio de Tambillo y Lumbisí.

Comparando este valor de distancia a cuerpo de agua con respecto a la normativa ecuatoriana, existe una diferencia de 12.42 m más bajo que lo establecido por el AM 3523, es decir, no cumple con la normativa ecuatoriana, y si se compara con normativa internacional, esta diferencia incrementa en 62.42 m, ya que, para el Reino Unido, la ONU y Escocia el mínimo valor de distancia a una fuente de agua potable es de 250 m de distancia (Miller & Wiens, 2017). Sin embargo, existe un criterio adicional en estas normativas y es que los criterios son diferentes para agua potable como para manantiales y cursos de agua de drenajes de campos. Para los drenajes de campo, el mínimo para según la ONU es de 10 m, para el Reino Unido es de 30 m al agua no utilizada para consumo humano y 10 m a desagües de campo; y para Escocia son 50 m de otras fuentes de agua y 10 m a los desagües de campo (Miller & Wiens, 2017). Es decir, el cementerio de Tambillo, no cumpliría con la normativa internacional con respecto a fuentes de agua potable, pero si cumple para drenajes de campo y otros manantiales.

En el caso del cementerio de Uyumbicho la distancia al cuerpo de agua es de 1118,75 m con un valor de 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según lo establecido (Guayasamín, 2021), en este cementerio se mantiene lo que se venía observando, a excepción del cementerio de Aloasí, que la categoría de la variable baja con respecto a la categoría del Cementerio e incluso Uyumbicho tiene la mayor distancia al cuerpo de agua de los 6 cementerios analizados.

Si se compara este criterio con la normativa internacional, se puede evidenciar que para Canadá y otros países, las regulaciones y estatutos establecen que la distancia a cuerpos de agua debe encontrarse entre los 250 m hasta 100 m como en el caso de Saskatchewan, aunque, existe una anomalía en lo recomendado por el Ministerio de Medio Ambiente y Energía de Canadá pues el valor oscila entre los 30 m lo cual es bastante crítico, sin embargo, la distancia al cuerpo de agua del cementerio de Uyumbicho cumple con estas normativas. Además de cumplir con la normativa ecuatoriana, cuyo valor mínimo es de 200 m de distancia a cualquier cuerpo de agua ya que no especifica si son fuentes de agua potable o drenajes de campo como en las normativas extranjeras.

A continuación, se muestra una gráfica (Gráfica 2) donde se resume el comportamiento de esta variable con respecto a la normativa ambiental ecuatoriana,



Gráfica 2. Variación de la distancia al cuerpo más cercano a cada cementerio con respecto al AM 3523

Elaborado por: Autor

Como se puede observar los cementerios de Nanegal y Aloasí son los más críticos con respecto a esta variable pues no cumple con el requerimiento mínimo de distancia, es decir, van acorde a la categorización que se le dio inicialmente al cementerio; mientras que, en el caso de Tambillo, Lumbisí y Uyumbicho tiene categorías menores, pero se mantiene la criticidad de los cementerios con respecto a la categoría inicial del cementerio. Esto puede deberse a la precisión de los datos tomados para el presente estudio como para los estudios previos.

La ubicación de un cementerio en función de la cercanía o lejanía de un cuerpo de agua, ya sea para consumo de agua o drenaje de campo es muy importante, pues no solo se verán afectados los recursos naturales, en caso de contaminación; sino que, en varias de las comunidades donde están ubicados los cementerios, se utilizan directamente estas fuentes para el consumo humano y animal, lo cual podría repercutir en la salud de la población, debido a las características patógenas y toxicidad que pueden tener los lixiviados de los cementerios.

Zhang (2004) realiza una investigación en la que establece una distancia segura basado en un rango de permeabilidad del suelo y el tiempo de vida de bacterias y virus. Si la permeabilidad es alta (mayor a 1×10^{-4} cm/s) la distancia segura es de hasta 465 m, sin embargo, el mínimo debe de ser de 150 m. Długozima (2022), plantea que distancia desde

el cuerpo de agua (uso para agua potable) es inferior a 150 m. Y según Zychowski & Bryndal (2014) el tener una distancia menor a 50 m a la urbanización más cercana también provocaría efectos adversos a la calidad del agua. Mientras que existen otros estudios en países desarrollados, donde está prohibida la construcción o ubicación de cementerios a los 15 a 25 m circundantes a fuentes de agua (Zume, 2011).

Según Pacheco (2000) tres investigaciones dentro de cementerios de Portugal indican presencia de bacterias y parámetros físico químicos elevados en las aguas subterráneas bajo el cementerio, en comparación con pozos ubicados a 300 m de distancia de estos, que tienen niveles más bajos. Por lo tanto, los acuíferos localizados bajo cementerios y que son poco profundos son más susceptibles a la contaminación por lixiviados.

Incluso en un estudio alemán se midió la cantidad de bacterias, demanda de amoníaco, nitratos y demanda química de oxígeno en el agua subterránea de un cementerio a 0.5 m bajo las tumbas, a varias distancias pendiente abajo del cementerio; Miller & Wiens (2017) identificaron la presencia de 6000 bacteria por ml a 0.5 m del cementerio, mientras que, a los 5.5 m la presencia de bacterias fue de 180 bacterias por ml. Con respecto a la demanda de amoníaco, a los 0.5 m del cementerio la concentración fue de 6 mg/l, mientras que, a los 1.5 m la concentración es de 0.75 mg/l. Para el caso de nitratos, la concentración es de 4.8 mg/l a los 0.5m del cementerio, mientras que, a los 1.5 m es de 0.1 mg/l. La demanda química de oxígeno se logró determinar a los 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 y 5.5 metros de distancia, cuyos valores fueron de 26.7 mg/l, 16.4 mg/l, 15.4 mg/l, 15.4 mg/l, 11.4 mg/l y 11.4 mg/l, respectivamente.

Por lo tanto, este análisis con respecto a la presencia de microorganismos en el cuerpo de agua bajo el cementerio a distintas distancias permite evidenciar la influencia que tiene esta variable con respecto a un lugar idóneo para la construcción de este tipo de infraestructuras que causan lixiviados con contenido de patógenos y sustancias tóxicas capaces de afectar tanto al ambiente como a la población.

Como se puede observar a mayor distancia disminuyen las concentraciones de cada parámetro analizado. Por lo tanto, esta variable ambiental es de suma importancia para determinar la ubicación óptima de un cementerio.

Finalmente, la normativa ambiental con respecto a esta variable es una guía a considerar para nuestro país pues falta desarrollar los criterios técnicos establecidos para la construcción de un cementerio, a continuación, se presenta un cuadro resumen con algunos criterios de diferentes normativas extranjeras con respecto a la distancia a cuerpos de agua y nivel freático.

Tabla 8. Recomendaciones para distancias de retroceso de diversas fuentes

<i>Distancia a fuente de agua potable (m)</i>	<i>Distancia a manantiales y/o drenajes de campo (m)</i>	<i>Nivel Freático (m)</i>	<i>País</i>
200		2.50	Acuerdo Ministerial 3523, Ecuador
250	10	1	Organización Mundial de la Salud, Oficina Regional para Europa
250	30 m de agua no utilizada para consumo humano y 10 m de desagües de campo	1	Reino Unido
250	50 m de cursos de agua y 10 m de desagües de campo	1	Escocia
15-90 m depende del uso de agua			Estados Unidos
30 m de distancia de un pozo o agua superficial		0.5 m sobre el nivel freático	Canadá (Recomendación)
100 m de curso de agua o pozo			Saskatchewan, Canadá
120 m de un pozo			Columbia Británica, Canadá

Elaborado por: (Miller & Wiens, 2017)

Precipitación

En base a estudios previos, a partir de la aplicación de una matriz de prioridades se obtuvo que la precipitación tiene una ponderación de 14.98% (Guayasamín, 2021) con respecto a la ubicación de un cementerios, sin embargo, en el Ecuador la normativa no especifica criterios específicos para realizaron una comparación. No obstante, según Azevedo et al. (2023), los cementerios pueden llegar a considerarse un tipo de vertedero público de residuos sólidos, pues el comportamiento es similar, considerando que en ambos se da generación de lixiviados contaminantes para el ambiente y la salud de los humanos.

El cementerio de Nanegal tiene una precipitación de 2148,51 mm promedio anuales con un valor de 4 correspondiente a la categoría ligeramente adecuada (Guayasamín, 2021).

Esta categoría dada a la precipitación en Nanegal es menor comparada con la categoría del cementerio, pero manteniendo su estado crítico.

Por otro lado, al comparar este valor con los criterios de localización de un relleno sanitario emitido por la EPA (Betancourt, 2019), la precipitación de Nanegal es menor que la precipitación anual media considerada como mala, entra dentro de una categoría regular que va desde 1500 mm a 2500 mm.

El cementerio de Chillogallo – La Libertad tiene una precipitación de 1323.1 mm con un valor de 3 considerado dentro de la categoría moderadamente adecuado (Guayasamín, 2021). Esta categoría es dos niveles menores que la categoría del cementerio en su totalidad, por tanto, afectará en un futuro al resultado que se obtengan al ejecutar las ecuaciones.

Mientras que, si se compara la precipitación de 1323.1 mm con la clasificación dada por los criterios emitidos para la localización de un relleno sanitario, este se encuentra en la clasificación buena que va desde 800 mm a 1500 mm anual media. La diferencia es de 176.9 mm con respecto al límite más alto del rango.

En el caso del cementerio de Tambillo la precipitación media anual es de 1372.42 mm dentro de la categoría moderadamente adecuado y un valor de 3, dos niveles menos que la categoría de cementerio, valores que van a ir afectando en el resultado final del nuevo cálculo de la categoría, no obstante, se mantiene la criticidad.

Al comparar con los criterios establecidos para un relleno sanitario por parte de la EPA, este valor entra dentro de la clasificación de buena que va desde los 800 mm a 1500 mm, sin embargo, siguen representando un riesgo debido a su influencia en el transporte de los contaminantes hasta los cuerpos de agua que captan el drenaje natural producido por las lluvias.

El cementerio de Lumbisí con una precipitación de 842.1 mm entra en la categoría de muy adecuado con valor de 2 para ejecutar en las ecuaciones según Guayasamín (2021). Si se compara con la clasificación emitida por la EPA para los criterios de un relleno sanitario (Betancourt, 2019), ocurre lo mismo que con los cementerios de Chillogallo – La Libertad y Tambillo; la precipitación es buena correspondiente al rango de 800 mm a 1500 mm.

Sin embargo, para este caso, si existe una contradicción mayor, ya que la categoría de la variable es muy adecuada mientras que la categoría del cementerio es ligeramente adecuada, es decir, va de una zona crítica a no crítica y se pierde el sentido de criticidad dentro del resultado de la categoría del cementerio.

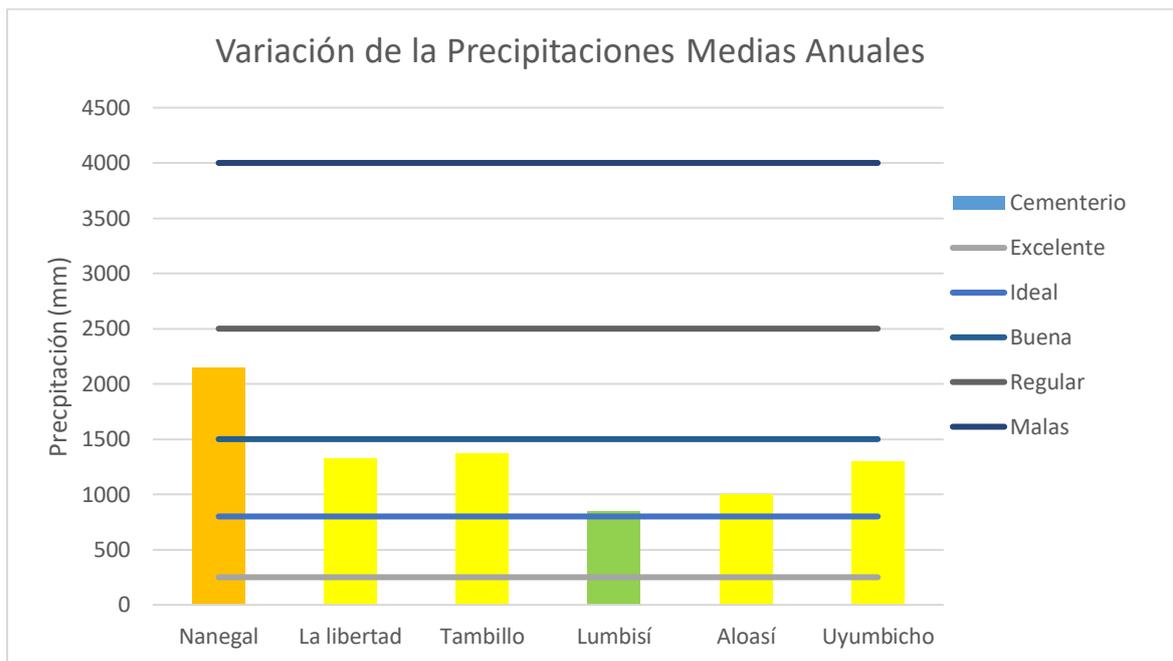
El cementerio de Aloasí tiene una precipitación media anual de 1000.36 mm correspondiente a la categoría de moderadamente adecuado y un valor de 3 (Guayasamín, 2021). En este punto se mantiene la criticidad a pesar de que se disminuye el nivel de la categoría de la variable con respecto al cementerio.

Por otra parte, tomando en cuenta los criterios establecidos para un relleno sanitario, elaborado por la EPA (Betancourt, 2019) donde plantea que las precipitaciones anuales mayores a 2500 mm se consideran como malas, entre 1500 mm y 2500 mm es regular, entre 800 mm y 1500 mm es buena y de 250 mm a 800 mm es ideal, si existen zonas con precipitaciones menores a 250 mm/año es excelente, la precipitación de Aloasí ingresa en la categoría de buena. Cabe recalcar que este criterio se ajustara en función de las condiciones climáticas en las que respecta a la localidad del desarrollo del cementerio.

Para el cementerio de Uyumbicho la precipitación es de 1293.1 mm con valor de 3 y categoría moderadamente adecuada, repitiéndose lo mismo que en los otros cementerios a excepción de Lumbisí, disminuyéndose el nivel de la categoría de la variable con respecto al del cementerio, pero manteniendo su criticidad, es decir, que sería una zona donde si llegaría a existir afectación y posibilidad de darse contaminación por parte del cementerio.

Al comparar la precipitación del cementerio de Uyumbicho con los criterios para un relleno sanitario (Betancourt, 2019), esta cae dentro de la categoría de buena, con una diferencia de 206.9 mm medios anuales, sin embargo sigue siendo una precipitación alta que podría facilitar el transporte de los contaminantes por los drenajes naturales. Además, al considerar el comportamiento de un cementerio similar al de un relleno sanitario, la producción de lixiviados puede ser alta en función de las precipitaciones.

A continuación, se presenta una gráfica (Gráfica 3) resumen para visualizar el comportamiento de las precipitaciones de cada cementerio con respecto a la clasificación emitida por la EPA para los criterios de un relleno sanitario.



Gráfica 3. Variación de las precipitaciones medias anuales con respecto a los criterios de la EPA para un relleno sanitario.

Elaborado por: Autor

Como se evidencia en la gráfica los cementerios tienen categorías acordes a los criterios de precipitaciones con respecto a la normativa internacional. Cuatro de los 6 cementerios tienen una categoría de precipitación moderadamente adecuada y un cementerio, el de Nanegal, con categoría ligeramente adecuado, todos manteniéndose dentro de rangos críticos, a excepción de Lumbisí cambia este criterio categorizándose como muy adecuado. Sin embargo, cabe recalcar que es un análisis por variable mas no según la suma de todas las variables, este análisis se lo realizara después.

Como expone Miller & Wiens (2017), la precipitación es un factor de importancia en relación al nivel freático, ya que, el incremento de las precipitaciones eleva el nivel freático, especialmente en la época lluviosa, en los meses fríos; esto contribuye a la eliminación rápida de los contaminantes del suelo pero puede repercutir en la contaminación del agua, además no todos los contaminante migran del suelo algunos son persistentes. La profundidad del terreno respecto del nivel freático debe considerar el valor máximo al que llega cuando las lluvias son intensas, debe considerar los puntos críticos en que las precipitaciones son máximas o incluso cuando son afectadas por fenómenos naturales como el fenómeno del niño.

Algunos análisis en pozos situados en la parte central del cementerio mostraron contaminación bacteriología, es decir, determinaron cantidades de bacterias elevadas en

comparación con pozos ubicados a 290 m de distancia del cementerio. Además, en las épocas lluviosas los niveles de *S. aureus* y estreptococos fecales fueron registrados en la superficie del suelo; Rodríguez & Pacheco (2010) en sus estudios indican que en Portugal el clima es frío, sobre todo en invierno se producen altas precipitaciones e incrementa la humedad del aire, lo que repercute en los niveles bacteriológicos de las aguas subterráneas.

Por ejemplo, en épocas de lluvias intensas, los patógenos migran, aumentando su velocidad hasta llegar al agua subterránea, el suelo y el agua son más vulnerable cuando el nivel freático es de poca profundidad. Los patógenos al estar en una zona aireada mueren con mayor facilidad y rapidez que cuando se encuentran en una zona de saturación, ya que el transporte en esta zona es más lento que en el flujo del agua subterránea (Zychowski & Bryndal, 2014).

Baum et al. (2022) explica que las precipitaciones son una fuente discontinua de recarga natural de los acuíferos, afectando específicamente a la altura del nivel de agua, tanto en el acuífero freático como en la movilidad de los contaminantes en la zona no saturada. Algunas investigaciones derivadas de la exhumación de cadáveres humanos y muestras de suelo indican algunos factores que llegan a influir dentro del mapeo de la vulnerabilidad de las capas del suelo y agua subterránea, que también, afectan al proceso de descomposición de los cadáveres enterrados (Zhang, 2004). Algunos de estos factores son:

- Textura de la superficie del suelo
- Cobertura terrestre
- Precipitación neta de lluvia
- Espesor de la capa no saturada.

Pendiente

La variable pendiente tiene una ponderación de 10.36% de acuerdo a la matriz de prioridades elaborada por (Guayasamín, 2021), siendo la cuarta variable de mayor importancia para la determinación de la idoneidad de un terreno para la ubicación de un cementerio. Sin embargo, debido a la falta de información con respecto a criterios de la normativa ecuatoriana se sigue la misma consideración que en la variable anterior, es decir, asumimos que la pendiente en un cementerio actúa de la misma manera que la pendiente en un relleno.

La pendiente del Cementerio de Nanegal es de 15.73 % de valor 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según la estandarización de Guayasamín (2021). La categoría de esta variable es dos grados menores que la categoría del cementerio, tomando en cuenta que la pendiente fue medida en el cementerio y no corresponde a la pendiente de toda la parroquia de Nanegal puesto que el valor difiere e interfiere en la categorización del cementerio.

Para la EPA, el valor de la pendiente debe oscilar entre 3 y 12% (Betancourt, 2019); si se compara la pendiente de este cementerio con este criterio, no cumple con este requerimiento. Por otra parte, según el U. S. Department of Veterans Affairs (2020) establece que las zonas de entierro se deben ajustar a pendientes que van desde un valor mínimo de 2 % hasta un máximos de 15 % para poder tener un drenaje positivo y poder establecer un acceso peatonal, por lo tanto, si se compara con el valor de la pendiente de Nanegal, la ubicación de este cementerio en función de la pendiente no cumple con el requerimiento, aunque sobrepasa en un 0.73% lo cual debería de discutirse más a fondo.

La pendiente del Cementerio de Chillogallo – La Libertad es de 10.25 % de valor 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según la estandarización de (Guayasamín, 2021), para este cementerio, también baja dos niveles con respecto a la categoría del cementerio, ya que, este cementerio fue catalogado como no adecuado.

Al comparar el valor de la pendiente del cementerio de La Libertad con los criterios para un relleno sanitario emitido por la EPA, que oscila entre 3 y 12%, este valor cumple con la recomendación de este ente internacional. Por otra parte, si se compara con los criterios que establece el U. S. Department of Veterans Affairs (2020), también, entra dentro del rango recomendado de 2 al 15%.

La pendiente del Cementerio de Tambillo es de 16.32 % de valor 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según la estandarización de Guayasamín (2021), como este cementerio está catalogado como no adecuado, es dos niveles más que la categoría de esta variable, sin embargo sigue manteniendo el estado crítico del cementerio.

Si se compara la pendiente de este cementerio con los criterios establecidos para un relleno sanitario según la EPA (Betancourt, 2019), la pendiente está fuera del rango, sobrepasando con un 4.32 % el límite. Por otra parte, si se compara la variable con el U. S. Department of Veterans Affairs (2020), tampoco entra dentro del rango establecido, sobrepasando un 1.32 % con respecto al límite. Por lo tanto, la pendiente del cementerio de Tambillo no es apta para la ubicación de un cementerio, a breves rasgos.

La pendiente del Cementerio de Lumbisí es de 12.87 % de valor 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según la estandarización de Guayasamín (2021), a diferencia de los anteriores cementerios este cementerio es catalogado como ligeramente adecuado, por lo tanto, con respecto a la categoría de la variable baja un solo nivel, lo cual es aceptable y se mantiene el criterio de criticidad.

Por otra parte, si se compara el valor de la variable con los criterios para un relleno sanitario establecidos por la EPA (Betancourt, 2019) el valor no entra dentro del rango con una diferencia de 0.87%, la cual se podría analizar más a profundidad mediante pros y contra para poder tomar una decisión. Al contrario, si se compara con el (U. S. Department of Veterans Affairs, 2020), como tiene un rango más amplio, el valor si entra dentro del rango establecido y con este criterio si se podría considerar la ubicación de un cementerio, claro que se debe realizar el análisis de las demás variables influyente en el resultado final.

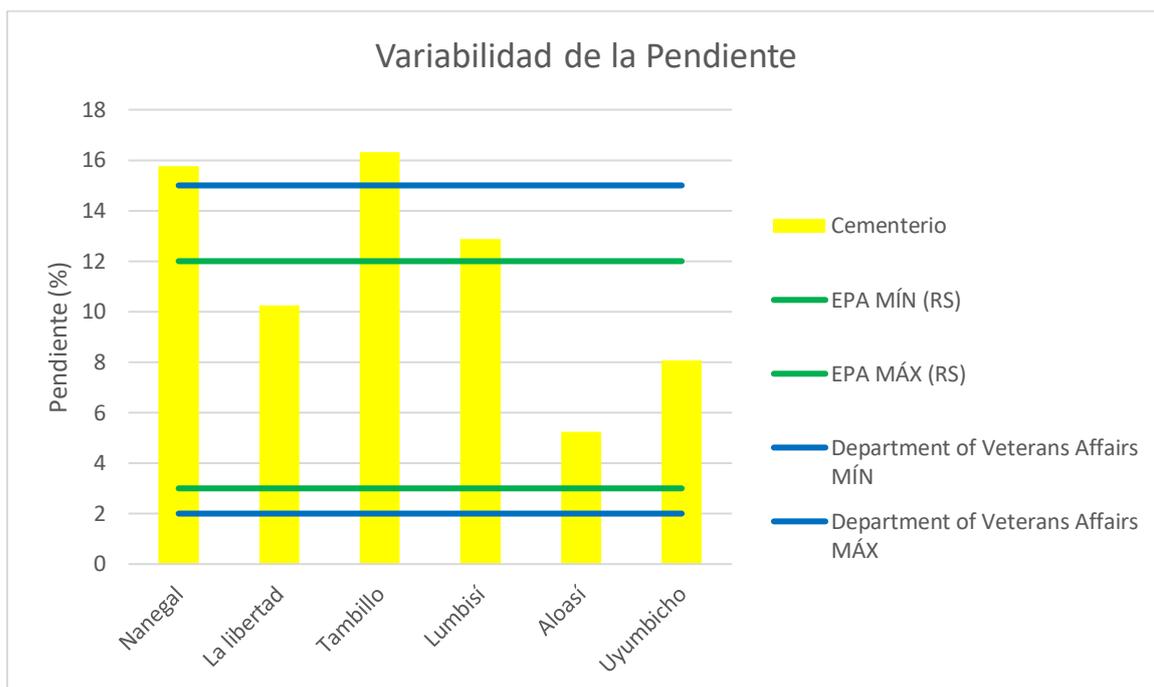
La pendiente del Cementerio de Aloasí es de 5.25 % de valor 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según la estandarización de (Guayasamín, 2021), ocurre lo mismo que en el cementerio con respecto a las categorías.

Si se compara el valor con los criterios establecidos por la EPA, la pendiente entra en el rango establecido, de la misma manera que al comparar con la U. S. Department of Veterans Affairs (2020), también entra en la clasificación, puesto que es un rango más amplio,

Para el caso de la pendiente del Cementerio de Uyumbicho, esta tiene un valor de 8.08 % de valor 3 correspondiente a la categoría moderadamente adecuado según la estandarización de Guayasamín (2021). La diferencia de categorías entre la variable y el cementerio es de un nivel menos, sin embargo, esto puede deberse a la precisión de los datos puesto que difiere la pendiente del cementerio con respecto a la pendiente de la parroquia en la que se ubica el cementerio.

Al comparar el valor de la variable con respecto a criterios extranjeros como el U. S. Department of Veterans Affairs (2020), este entra al rango establecido, que como ya se ha mencionado es el más amplio, mientras que, al comparar con los criterios para un relleno cementerio emitido por la EPA, también cumple con lo recomendado. Siendo un a pendiente baja la más adecuada para minimizar el transporte de los contaminantes.

Finalmente, se elabora una gráfica (Gráfica 4) donde se indica el comportamiento de la pendiente de los cementerios con respecto a la normativa internacional y los criterios del relleno sanitario.



Gráfica 4. Variación de las pendientes del cementerio con respecto a normativa internacional.

Elaborado por: Autor

Como se puede observar, las variables de pendientes con respecto a los cementerios fueron catalogadas dentro de la categoría moderadamente adecuado, sin embargo, con respecto a la normativa se observa que solamente sobrepasan los cementerios de Nanegal y Tambillo, pero no es un exceso considerable por lo que se deben analizar más a fondo y tomar en cuenta otros factores para la toma de decisiones.

Según Zychowski & Bryndal (2014) los cementerios deber ser ubicados en pendientes suaves, debido a que, si son altas genera condiciones favorables para la inundación de tumbas, lixiviación, flujo superficial y subsuperficial y migración de los contaminantes generados por la descomposición de los cadáveres y ataúdes. Miller & Wiens (2017) plantea que la topografía es importante antes de ubicar un cementerio por la migración hacia fuentes de agua.

Por otra parte, en estudios según Długozima (2022) se ha considerado un defecto fatal cementerios ubicados en pendientes superiores a 30%, sitios ubicados bajo una depresión o áreas circundantes. Por ejemplo, el cementerio de Nanegal sufrió un derrumbe debido a que, en si el cementerio no tiene pendiente, pero su área circundante tenía una pendiente sumamente elevada y repercutió en el derrumbe de una parte del cementerio e incluso

algunos ataúdes fueron a para al río, además que, hubo otros factores que influyeron en este suceso.

Textura del suelo

Los cementerios de Nanegal, Chillogallo – La Libertad, Lumbisí, Aloasí y Uyumbicho tiene un tipo de suelo franco arcillo arenoso con un valor de 3 y una categoría moderadamente adecuado; dicha categoría difiere en dos niveles con respecto a los cementerios no adecuados y en un nivel con los cementerios ligeramente adecuados. Mientras que, para el caso del cementerio de Tambillo tiene un tipo de suelo arcilloso considerado dentro de una categoría completamente adecuada con un valor de 1.

Las categorías de cada uno de los tipos de suelos determinados para el presente estudio se consideran adecuados en función de su intervención en la contaminación del suelo y el agua subterránea a causa de un cementerio. Según Turajo et al., (2019) la textura y estructura del suelo son características físicas del suelo que pueden afectar el comportamiento de los contaminantes y/o lixiviados producidos por los cementerios a través del suelo y el agua subterránea. La zona no satura del suelo cumple la función de filtro y absorbente, controlando procesos de atenuación y liberación de microorganismo y productos químicos.

Las zonas que tiene condiciones de alta permeabilidad no son óptimas para la ubicación de un cementerio. Cuando se realiza el entierro, los suelos arcillosos al tener una alta capacidad de intercambio iónico y superficie específica, son considerados adecuados para una retención de fluidos y metales. Depende de la textura y estructura del suelo; los sitios con condiciones de alta permeabilidad no son adecuados para un cementerio (Baum et al., 2022).

Al tener cementerios ubicados en suelo con características de tipo poroso como arena y grava, el agua subterránea se mezcla fácilmente aumentando la velocidad de filtración, siendo e un medio de transporte eficiente para la propagación de enfermedades, llegando a provocar epidemias locales transmitidas por aguas contaminadas ya sea con metales pesado, materia orgánica, microorganismos patógenos como bacterias y virus (Turajo et al., 2019).

Caso contrario, ocurre con las partículas finas y densas como la arcilla que impiden la filtración y descomposición de los cadáveres (Miller & Wiens, 2017). Debido a esto el suelo se convierte en un factor determinante para la supervivencia de virus y bacterias producto de la descomposición. Cabe recalcar, que el ph del suelo es un parámetro que se debería

de considerar para el análisis del suelo ya que también afecta al desarrollo de bacterias y virus, pues a condiciones ácidas provoca la muerte más rápida de los mismo (Miller & Wiens, 2017).

Año de creación y número de tumbas

Como se puede evidenciar en la Tabla 7, todos los cementerios están categorizados como moderadamente adecuados con un valor de 3, a excepción, del cementerio de La Libertad, el cual resulta ser el reciente, con una categoría de muy adecuado y un valor 2. Esto debido a que, al tener más de 70 años de antigüedad las técnicas de inhumación eran empíricas y no se consideraban afectaciones al ambiente, además la normativa aún no se desarrollaba de manera técnica, cosa que fue cambiando con el paso del tiempo y los avances tecnológicos y normas para la construcción y el ambiente cobro valor. Esta variable tiene una ponderación de 4.52% según (Guayasamín, 2021).

Por otra parte, con respecto al número de tumbas, para la mayoría de los cementerios los valores oscilan entre 500 a 2000 tumbas, correspondientes a categoría completamente adecuadas y muy adecuados. Esta variable tiene una ponderación de 2.92%, la cual no tiene alta afectación en el resultado de la categoría del cementerio.

Según Turajo et al. (2019) indica que las zonas con un riesgo potencial son los cementerios con más de 200 tumbas por año y que están construidas en suelos impermeables con nivel freático poco profundo, ya que al tener que realizar enterramientos masivos disminuye la profundidad de las tumbas y se entierra de 1 a 5 cadáveres por tumba lo que implica mayor caudal de lixiviación e impactos ambientales en contra del agua y suelo.

Temperatura ambiente

Para el cementerio de Nanegal, la temperatura ambiente dio como resultado 19.3 °C conforme una muestra de 29 años; fue categorizada como ligeramente adecuada con un valor de 4 según la estandarización de Guayasamín (2021).

Por otra parte, según se tomaron los valores en campo en la época pasada y se medían los resultados del presente estudio, se tiene que la temperatura media anual fue de 20 °C y 21 °C (Arcos, 2020), al ser una temperatura muy alta se considera como una zona no adecuada. Además, al comparar la temperatura medida por (Arcos, 2020) con la del presente estudio, no existe mayor variación.

Para el cementerio de Chillogallo – La Libertad el valor de temperatura media es de 11.9 °C correspondiente a una categoría moderadamente adecuada, con un valor de 3 según la categorización de Guayasamín (2021). La categoría de esta variable es dos niveles

inferiores a la categoría del cementerio, esto puede ser debido a la época y la temporalidad que se está viviendo y está siendo afectado por el fenómeno del niño.

Para el cementerio de Tambillo el valor de temperatura media es de 11.9 °C con un valor de 3 correspondiente a una categoría de moderadamente adecuado según la estandarización de Guayasamín (2021). La categoría de esta variable se comporta como la anterior correspondiente al cementerio de La Libertad, donde la categoría de la variable es dos niveles menores que la categoría a la que debe llegar el cementerio.

Si se compara este valor obtenido por el presente estudio, con la temperatura media anual determinada por (Arcos, 2020) que oscila entre 13 °C a 14 °C, al ser una temperatura media debería caer en una zona moderadamente adecuada, categoría que concuerda con la categoría de la temperatura actual.

En el caso del cementerio de Lumbisí el valor de temperatura media anual es de 15.6°C correspondiente a una categoría ligeramente adecuado con un valor de 4 que será utilizado posteriormente en las ecuaciones. Este cementerio al ser catalogado como ligeramente adecuado, con respecto a la categoría de la variable baja un nivel, lo cual puede deberse a la precisión de los datos e influencia de factores como fenómenos naturales como el fenómeno de El Niño, que cambiaron la temporalidad de las zonas de estudio.

Para el cementerio de Aloasí el valor de temperatura media es de 12.7 °C correspondiente a una categoría de moderadamente adecuado con un valor de 3 cuya caracterización fue de acuerdo a Guayasamín (2021). Además, en el análisis de las categorías, ocurre el mismo fenómeno que en el anterior cementerio; disminuye en un nivel la categoría de la variable.

En el caso del cementerio de Uyumbicho el valor de temperatura media es de 14 °C correspondiente a una categoría de moderadamente adecuado con un valor 3 para posteriormente utilizar en las ecuaciones y determinar una nueva categorización para el presente cementerio. El cambio de categoría de ligeramente adecuado a moderadamente adecuado es válido con respecto a lo que nos indican los valores, pues estas temperaturas son relativamente altas para fomentar el crecimiento microbiano como para inhibirlo, pues en este punto hay que analizar el tipo de microorganismo que se utiliza para garantizar su supervivencia.

Mundialmente se ha demostrado que las temperaturas altas influyen en la activación de los virus y se reconoce que este es uno de los factores con mayor afectación a la supervivencia

de los virus en el ambiente, debido a que se realiza la desnaturalización de las proteínas y se puede provocar un efecto adverso al ácido nucleico (van Wyk et al., 2022)

La supervivencia de virus y bacterias debe lograrse en periodos extendidos para cumplir con el periodo mínimo, por lo tanto de los factores que influyen en esta supervivencia se tiene una temperatura baja, un alto contenido de humedad del suelo relacionado con una menor cantidad de actividad microbiana, un ambiente más alcalino y un mayor contenido de materia orgánica (Pacheco et al., 1991).

Según Crisanto-Perrazo et al. (2022) la temperatura adecuada oscila entre 21 y 38 °C, además precipitaciones, humedad elevada que influyen en la aceleración de las reacciones metabólicas de los organismos microbiológicos. Además, Miller & Wiens, (2017) explican que la velocidad de descomposición depende de la temperatura, humedad del suelo, aireación y lixiviación, con un rango de temperatura óptimo entre 25 y 35°C. Además, esta variable tiene un ponderación de 4.52% (Guayasamín, 2021).

Falla geológica

La variable falla geológica, a partir de la matriz de prioridades, se determinó que tiene una ponderación de 2.92% (Guayasamín, 2021).

Para todos los cementerios esta variable tiene un valor de 5 y una categoría de no adecuado; esta variable tiene la misma categoría que los tres cementerios más críticos catalogados como no adecuados, sin embargo, para los cementerios catalogados como ligeramente adecuados, existe un aumento de la categoría de la variable, debido al peso de la misma esta no tiene gran repercusión en la categorización del cementerio como tal.

Este parámetro fue considerado debido a que se indica que Quito está ubicado en una zona de vulnerabilidad para condiciones sísmicas, deslizamientos y actividad volcánica activa. Quito vivió 7 sismos de magnitudes considerables durante los años 1587, 1860, 1920, 1957, 1963, 1997 y 2014; estos sucesos pudieron tener un efecto en las estructuras de fosas y posibles infiltraciones de contaminante a nivel freático (Guayasamín, 2021).

Las fallas geológicas son criterios que tendrían un efecto inmediato en la determinación de una zona no adecuada para la construcción de un cementerio, por lo tanto, es un criterio que debería ser tomado en cuenta. Si se realiza un análisis previo tomando estas consideración y eliminando áreas que tengan este tipo de inconvenientes, se reduciría el área de búsqueda y ahorrarían tiempo y recursos para establecer una zona idónea para la ubicación de un cementerio (Długozima, 2022).

Por otra parte, si consideramos aquel criterio de que el cementerio se comporta como un vertedero o relleno sanitario, tenemos que, no deben estar ubicados a menos de 60 m de una falla con desplazamiento Holocense, o a un intervalo entre 60 m a 2000 m de una falla activa (Betancourt, 2019). Por lo tanto, si se compara cada cementerio con estas recomendaciones, se evidencia que, no cumplen y están fuera del rango establecido para la distancia con respecto a una falla con desplazamiento Holocense.

Densidad Poblacional

La ponderación de esta variable con respecto a su influencia dentro de la determinación de la categoría de un cementerio es de 2.03%.

Con respecto al cementerio de Nanegal la densidad poblacional es de 11 hab/km², con una categoría de muy adecuado de valor 2, dato que fue calculado en base al censo del año 2010. Sin embargo, si se compara este valor con el determinado por Arcos (2020) de 161 hab/km², la diferencia es abismal; y es en este punto en el que ingresa el análisis de la precisión de los datos, ya que, al encontrar datos de este tipo generan un conflicto en la categorización propuesta por Guayasamín (2021). Como esta variable no tiene peso considerable, no tiene gran efecto en los resultados, pero si se tratara de variables de mayor ponderación como nivel freático o distancia a cuerpos de agua, esto si generaría una categorización bastante critica o completamente adecuada.

En el caso de Tambillo, la densidad poblacional es de 180 hab/km², cuya categoría es de no adecuado. Sin embargo, pasa lo mismo que en el cementerio de Nanegal, Arcos (2020) establece que tambillo tiene una densidad población de 161 hab/km² valor que difiere del obtenido a partir del censo del año 2010.

El cementerio de La Libertad en Chillogallo y Lumbisí, tienen densidades poblacionales de 95 hab/km² y 140 hab/km², respectivamente; cuya categoría es de ligeramente adecuada. En el primer caso la categoría de la variable es un nivel menor que la del cementerio, pero en el caso de Lumbisi, la categoría de la variable coincide con la del cementerio.

Por otra parte, el cementerio de Aloasí y Uyumbicho con densidades poblacionales de 780 hab/km² y 219 hab/km², respectivamente, cae en la categoría de no adecuado, subiendo un nivel la categoría de la variable con respecto a la categoría de ambos cementerios que son ligeramente adecuados.

Cabe recalcar que en la Ordenanza 3457 del Distrito Metropolitano de Quito, se establece que los cementerios parroquiales y zonales, servicios de cremación y/o velación y osarios dentro de los centros urbanos de Quito, tiene un radio de influencia de 3000 m, con 1

m²/hab., lote mínimo de 20000 m² y una población base de 20000 habitantes (CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO, 2017).

Después de realizar el análisis de cada variable correspondiente a cada cementerio, en una hoja de Excel automatizada, donde se ingresaron las ecuaciones, tanto para diez variables como para dos se obtiene la Tabla 8 con los resultados de las corridas realizadas y la señalización con respecto a la categoría que se obtuvo.

Tabla 8. Comprobación de ecuaciones lineales empíricas para la determinación de la idoneidad territorial de cementerios

CEMENTERIOS								
VALIDACIÓN DE ECUACIONES CON VARIABLES EN CAMPO	Número de Variables		Nanegal	Chillogallo - La Libertad	Tambillo	Lumbisí	Aloasí	Uyumbicho
	Ec 2	10	3,30	3,19	2,64	3,21	2,88	3,34
	Ec 3	9	3,33	3,18	2,58	3,20	2,82	3,34
	Ec 4	8	3,32	3,17	2,54	3,19	2,79	3,30
	Ec 5	7	3,32	3,20	2,52	3,24	2,77	3,35
	Ec 6	6	3,28	3,21	2,49	3,22	2,74	3,38
	Ec 7	5	3,27	3,26	2,46	3,26	2,69	3,42
	Ec 8	4	3,25	3,28	2,53	3,31	2,69	3,42
	Ec 9	3	3,22	3,30	2,46	3,38	2,51	3,54
	Ec 10	2	3,00	3,33	2,33	3,67	2,33	3,67

Elaborado por: Autor

Como se puede observar, dentro del primer grupo de cementerios; catalogados como no adecuados, disminuyeron su categoría, tanto el cementerio de Nanegal como el de La Libertad, un nivel; pero con respecto a Tambillo, se bajan dos niveles. Además, se puede evidenciar que el índice, a partir de la primera ecuación, de diez variables hasta la ecuación de dos variables va disminuyendo conforme disminuyen el número de variables e incluso para la ecuación con 2, la categoría del cementerio de Nanegal llega a bajar un nivel adicional.

Esto puede deberse a lo identificado con anterioridad, las variables con mayor ponderación como el nivel freático, la distancia a cuerpos, precipitaciones y pendiente, tienen una correlación entre sí; que se podría explicarse de esta manera: si se tiene un incremento en las lluvias, existe un incremento del nivel freático, y en caso de presencia de lixiviados, la pendiente facilitaría la movilidad de los contaminante hasta llegar al cuerpo de agua más cercano; por lo tanto, se debe ser cuidadoso al realizar el tratamiento de datos de estas variables, ya que la variabilidad del tiempo hace que difieran los datos con respecto a estas

variables, es decir, no permite un adecuado análisis si no se toman en cuenta los factores que puede provocar la variación de los datos de estas variables.

Para la categorización elaborada por Guayasamín (2021), las mediciones de los datos utilizados fueron tomados en época lluviosa, mientras que, para el presente estudio las mediciones de las variables en campo fueron tomadas en época seca, lo cual genero cierta diferencia entre los valores obtenidos para cada análisis. Por lo tanto, sería óptimo realizar el estudio, tanto para época seca como para época lluviosa y así poder tener un resultado más acorde a la realidad del cementerio.

Para el caso de los cementerios de categoría ligeramente adecuado, los resultados son más alentadores, ya que dos de los cementerios, Lumbisí y Uyumbicho coinciden con la categoría propuesta por Guayasamín (2021). Además, cabe recalcar que para estos cementerios el índice va a aumentando conforme va disminuyendo el número de variables, por lo tanto, se podría concluir que, existe una tendencia, de que estos cementerios, sean no adecuados. Sin embargo, el cementerio de Aloasí, resulta en una categoría menor a la propuesta por Guayasamín (2021), mientras que su índice va disminuyendo con respecto al número de variables.

Cabe recalcar que, a pesar de que no todos los cementerios coinciden con la categoría propuesta inicialmente, mantiene el criterio de ser cementerios críticos con riesgo de contaminación, tanto al recurso suelo como al recurso agua, pues oscilan entre categorías como no adecuado, ligeramente adecuado o moderadamente adecuado, donde se mantiene dudosa la decisión de ubicar o no el cementerio; a diferencia de categorías como muy adecuado y completamente adecuado, que dan la apertura para la construcción de un cementerio.

La precisión de los datos con respecto a cada variable es un factor fundamental, ya que llegó a afectar de tal manera que cambio la categoría de los cementerios, como se evidencia en la Tabla 7, las categorías de las variables, sobre todo de las que tienen mayor ponderación, debían oscilar dentro de categorías similares a las planteadas para cada cementerio, sin embargo, como en el caso del cementerio de Nanegal, la variable más importante, nivel freático, tenía una categoría de muy adecuado, mientras que la hidrográfica, tenía una categoría de no adecuado. El caso del cementerio de Nanegal es uno de los más importantes para el presente estudio, ya que fue posible comparar los valores de las variables obtenidos por Crisanto-Perrazo et al. (2022) y Guayasamín (2021). Como se puede observar en la Tabla 8, el cementerio de Nanegal fue categorizado según Crisanto-Perrazo et al. (2022) y Guayasamín (2021) como “No Adecuado”, sin embargo,

utilizando los datos obtenidos en campo para cada ecuación dan como resultado que pertenece a la categoría “Ligeramente adecuado”, a continuación se presenta un cuadro resumen (Tabla 9) identificando los criterios que difieren para cada estudio.

Tabla 9. Comparación de los criterios que difieren en la categorización de las variables ambientales y geológicas en el Cementerio de Nanegal

Criterio	Categoría Época Lluviosa (Guayasamín, 2021)	Categoría Época Seca (presente estudio)
<i>Nivel Freático</i>	4	2
<i>Pendiente</i>	5	3
<i>Tipo de Suelo</i>	2	3
<i>Temperatura</i>	5	4
<i>Falla geológica</i>	2	5
<i>Densidad Poblacional</i>	5	2

Elaborado por: Autor

Como se puede observar la categorización para cada variable en épocas diferentes difieren en ambos estudios, sin embargo, esto se vuelve un trabajo complementario, pues al identificar el comportamiento de este cementerio, tanto en la época lluviosa como en la época seca se puede tener un criterio más formado. Es decir, se puede considerar que en época seca el cementerio de Nanegal está dentro de una categoría ligeramente adecuada, mientras que, en época lluviosa, se eleva a una categoría de no adecuada, por tanto, es correcto decir que efectivamente abra un impacto ambiental negativo. Por lo tanto, esta herramienta en la toma de decisión, contribuirá en la determinación de la idoneidad de un territorio para la ubicación de un cementerio.

En base a estos resultados quedan elaborada la validación de las ecuaciones propuestas de manera teórica, siempre y cuando sean tomadas en cuenta las consideraciones mencionados con anterioridad para obtener buenos resultados; 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 (Guayasamín, 2021). Además, estos índices serán un apoyo para la toma de decisiones de las autoridades encargadas de gestionar el cementerio e incluso, con los ajustes correspondientes, un relleno sanitario.

3.2 Conclusiones

En los resultados se observa que los cementerios de Nanegal, Chillogallo – La Libertad, Lumbisí y Uyumbicho son de categoría “Ligeramente adecuada”, en cambio, Tambillo y Aloasí quedan en la categoría “Moderadamente adecuada”. Por lo tanto, en base a las ecuaciones y los resultados obtenidos, los cementerios bien categorizados son los de Lumbisí y Uyumbicho ya que coinciden con la categorización de Guayasamín (2021), a diferencia de los otros cementerios que varían en una a dos categorías.

Sin embargo, las variaciones de los niveles de categorización pueden deberse a la precisión de los datos y su temporalidad, ya que como se pudo analizar, las variables ambientales, especialmente aquellas con mayor ponderación dentro de los resultados, son más sensibles a las épocas en las cuales son medidas. Por lo tanto, se debe tener en cuenta estas consideraciones al momento de calificar a un territorio como idóneo para la ubicación de un cementerio.

En conclusión, los resultados obtenidos a partir de la recopilación de datos bibliográficos y los medidos en campo, determinados para la época seca, validaron los índices ambientales a partir de las ecuaciones lineales empíricas propuestas por Guayasamín (2021), ya que las categorías resultantes para cada cementerio se mantienen dentro de un estado crítico, es decir, indica causa probable de afectación al área en la que se ubica un cementerio y sus alrededores, caso contrario a las categorías no críticas como “muy adecuado” y “completamente adecuado” que dan apertura a que se implante un cementerio en un territorio.

3.3 Recomendaciones

Se recomienda a las autoridades dispongan de una base de datos accesible con respecto a las variables requeridos para el uso de esta herramienta, ya que, al tener datos más actualizados, se llega a considerar los cambios temporales que se han venido viviendo a causa de distintos fenómenos como el cambio climático.

Además, es importante analizar los resultados que se obtengan a partir del uso de esta herramienta de forma anual, ya que los comportamientos en las distintas épocas dentro de un mismo año permiten una toma de decisiones informada

También, sería un aporte positivo un monitorio de variables de precipitación y temperatura dentro de los cementerios, ya que son parámetros que influyen en la descomposición de cadáveres y migración de contaminantes, y darían una caracterización más real y más

actual de la zona de estudio, ya a que no existen bases de datos libres y actualizadas que contengan este tipo de información de las parroquias ni de los cantones.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcántara, G. (2010). *Pendientes de los suelos del departamento de Cajamarca*. Gobierno Regional de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/Pendiente.pdf>

Archer, D. (2000). *Thermodynamic Properties of the NaNO₃+H₂O System*.

<https://srd.nist.gov/JPCRD/jpcrd590.pdf>

Archer, M. (2004). Rainfall and temperature effects on the decomposition rate of exposed neonatal remains. *Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society*, 44(1), 35-41.

[https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(04\)71683-4](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(04)71683-4)

Arcos, E. (2020). *IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AMBIENTALMENTE NO ADECUADAS PARA LA UBICACIÓN DE CAMPOSANTOS EN LOS CANTONES MEJÍA, QUITO Y RUMIÑAHUI* [Tesis].

Universidad de las Fuerzas Armadas.

Arizabalo, R. D., & Díaz, G. (1991). *La contaminación del agua subterránea y su transporte en medios porosos* (Primera Edición, Vol. 6). UNAM.

https://www.researchgate.net/publication/316004500_La_contaminacion_del_agua_subterranee_y_su_transporte_en_medios_porosos

Baroja, G. (2012). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA ALOASÍ 2012-2025*.

http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/PDOT%20ALOAS%C3%8D_2012.pdf

Baum, C., Becegado, V., Becalli, P., Lavnitcki, L., Becegado, V., & Paulino, A. (2022). Contamination of groundwater by necro-leachate and the influence of the intervening factors in cemeteries of the municipality of Lages – Brazil. *Eng Sanit Ambient*. Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210037>

- Beláustegui, S. (1999). *Pendientes del Terreno y Fundamentos del Caudal Máximo No Erosivo*. (Buenos Aires-Argentina). Hoja técnica N° 07.
- Betancourt, P. (2019). *DETERMINACION DE ALTERNATIVAS PARA EL NUEVO RELLENO SANITARIO*. <https://es.scribd.com/document/435708912/Determinacion-de-Alternativas-para-Relleno-Sanitario>
- Blake, R. (2022). *CEMETERY REGULATIONS 2022 / 2027* (Bereavement Services Manager). Cyngor Sir y Fflint Flintshire County Council. <https://www.flintshire.gov.uk/en/PDFFiles/Funerals,-Cremations--Bereavement/Cemetery-Rules-and-Regulations.pdf>
- Borstel, C., & Niquette, C. (2000). *Testing Procedure for Historic Cemeteries—Google Académico*. https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Testing+Procedure+for+Historic+Cemeteries&author=C.L.+Borstel&author=C.+Niquette&publication_year=2000&
- Cabrera, A., & García, E. C. (2006). *Identificación de microorganismos indicadores y determinación de puntos de contaminación en aguas superficiales provenientes del cementerio Jardines del recuerdo ubicado en el norte de Bogotá*. <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/8283>
- Calderón, F. (2004). Caracterización y tratamiento de microorganismos bioindicadores de contaminación y deterioro de restos óseos humanos custodiados por el Laboratorio de Antropología Física de la Universidad Nacional (Colombia). *Exhumar.*, 1, 101-112.
- Campillo, R. (2003, enero 1). *Aguas Superficiales y Aguas Subterráneas: Un solo recurso – Estructplan* [Estructplan]. <https://estrucplan.com.ar/aguas-superficiales-y-aguas-subterranas-un-solo-recurso/>
- Chiguano, M. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial 2020-2023 Gobierno Autónomo Descentralizado de Uyumbicho*. http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Actualizaci%C3%B3n%20OPDOT%20Uyumbicho%202020-2023.pdf

CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO. (2017). *Ordenanza Metropolitana No. 127*.

https://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/comisiones%20del%20concejo/Usos%20de%20Suelo/2018/2018-01-08/9.%20%20Ordenanza%20Reformatoria%20Ordenanza%20No.%20127/Ordenanza%20Reformatoria%20Ordenanza%20No.%20127.pdf

Crisanto-Perrazo, T., Guayasamín-Vergara, J., o Mayorga-Llerena, E., Sinde-Gonzalez, I., Vizuet-

Freire, D., Toulkeridis, T., Flores, G., & Fierro, G. (2022). *Determination of Empirical Environmental Indices for the Location of Cemeteries—An Innovative Proposal for Worldwide Use*. <https://doi.org/10.3390/su14106284>

de Azevedo, A. P. C. B., Cardoso, T. A. de O., & Cohen, S. C. (2023). Could Necroleachate Be the

Cemetery's Sewage? A Panorama from Brazilian Legislation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(19), 6898.

<https://doi.org/10.3390/ijerph20196898>

Dent, B., & Knight, M. J. (1998). Cemeteries: A special kind of landfill. The context of their sustainable management. Groundwater: sustainable solutions. *Conference of the international association of hydrogeologists*, 451-456.

Długozima, A. (2022). How to find a suitable location for a cemetery? Application of multi-criteria evaluation for identifying potential sites for cemeteries in Białystok, Poland. *Moravian Geographical Reports*, 30(1), 34-53.

Espinoza, J. (2007). *Contaminación de aguas subterráneas por lixiviados provenientes de sepulturas bajo suelo en el camposanto «Parques del Paraiso» Lurin—Lima*.

Falconí, M. (2023). *VALIDATION OF EMPIRICAL EQUATIONS FOR DETERMINING THE SUITABILITY OF THE TERRITORY FOR THE SETTING OF CEMETERIES [manuscrito presentado para publicación] [Comunicación personal]*.

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

<https://doi.org/10.28927/SR.372161>

Fisher, G. J. (2001). *The Selection of Cemetery Sites in South Africa*. Council for Geoscience.

Florián, J. (2014). *EVALUACIÓN DE RIESGOS AMBIENTALES EN EL CEMENTERIO GENERAL DE CAJAMARCA*. 1(mo), 61.

Fonseca, A., Madrigal, H., Núñez, C., Calderón, H., Moraga-López, G., & Gómez, A. (2019).

Evaluación de la amenaza de contaminación al agua subterránea y áreas de protección a manantiales en las subcuencas Maravilla-Chiz y Quebrada Honda, Cartago, Costa Rica.

Uniciencia, 33(2), 76-97. <https://doi.org/10.15359/ru.33-2.6>

Franco, D. SP., Georgin, J., Villarreal Campo, L. A., Mayoral, M. A., Goenaga, J. O., Fruto, C. M.,

Neckel, A., Oliveira, M. L., & Ramos, C. G. (2022). The environmental pollution caused by cemeteries and cremations: A review. *Chemosphere*, 307, 136025.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136025>

Girón, D. (2011). *EVALUACIÓN Y MAPEO DE LA CALIDAD DE AGUA Y NIVEL FREÁTICO EN POZOS ARTESANALES PARA ABASTECIMIENTO HUMANO Y SU POSIBLE RELACIÓN CON LA RED HIDROLÓGICA EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE CHIQUIMULA, 2009*. [Tesis, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA].

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/51447682/Giron.D.2009.Evaluacion_Mapeo_Agua_Subterranea_Chiquimula-libre.pdf?1484946291=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEvaluacion_del_Agua_Subterranea.pdf&Expires=1706747958&Signature=OhvbSLUAvYM324STMrq63UzLVM-kMH3TDZVq1WLMshjaAuB5bKpTssossSj0ODsNSBWClS6pQzNxEVAf0IN-4sbWRppcstXHBoVPItnuQtRHK-kY6laq4KNCvsRa8lth9nFwsIHNgAnbu5wFf7FLMdnJe-alxai~eOG1dGuxUygVwL13BhbN0qDNwy858j6l-94TGYVkd-RB8fp2Bo5htRZb4-p7pAc2FKkxhVJmg-7U8AP36PDjFzYpjpGrTz0qjTeWpNuWli2Y-gpzghBQVI4JWqRijVfiQrXrjJI-

~a7qr460v9HZvJv7yFJ8dK-q6H5iMnAAawEpf7vDUNBDsQ__&Key-Pair-
Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha & Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2010). *ATLAS CLIMÁTICO DE PICHINCHA*. GAD Pichincha.
http://sitp.pichincha.gob.ec/repositorio/disenio_paginas/archivos/Atlas%20Climatico%20Pichincha.pdf

Guayasamín, J. (2021). *Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos: Entierro y cremación en Ecuador* [Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas de Gestión Ambiental, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental.
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/26580/1/T-ESPE-050865.pdf>

Gwenzi, W. (2021). Autopsy, thanatopraxy, cemeteries and crematoria as hotspots of toxic organic contaminants in the funeral industry continuum. *The Science of the Total Environment*, 753, 141819. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141819>

Haaland, C., & Konijnendijk, C. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*, 14.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>

Hart, A., & Casper, S. (2004). *Potential groundwater pollutants from cemeteries*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3830.2489>

Idehen, O. (2020). A Comparative Investigation of Groundwater Contamination in Typical Dumpsites and Cemetery Using Ert and Physicochemical Analysis of Water in Benin Metropolis, Nigeria. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 8(1), Article 1.
<https://doi.org/10.4236/gep.2020.81005>

Instituto de la Ciudad. (2022). *Censo de Población y Vivienda-CPV 2010*.
<https://institudelaciudad.com.ec/wp-content/uploads/2022/05/Censo-poblacio%CC%81n-proyecciones-1.xls>

- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2020). *POBLACIÓN, SUPERFICIE (KM2), DENSIDAD POBLACIONAL A NIVEL PARROQUIAL*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=311&force=0>
- Itodo, A. U., Eneji, I. S., Agbendeh, Z. M., & Kormi, A. A. (2021). ESTIMATION OF EMBALMING CONTAMINANTS IN SOIL AND GROUNDWATER SAMPLES FROM CEMETERY LEACHATES IN MBAIORBO, MBADIM-MBATIAV LEACHFIELD IN GBOKO, NIGERIA. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 46(3), Article 3. <https://doi.org/10.46602/jcsn.v46i3.624>
- Janaway, R. C., Percival, S. L., & Wilson, A. (2009). Decomposition of Human Remains. En *Microbiology and Aging: Clinical Manifestations* (pp. 313-334). https://doi.org/10.1007/978-1-59745-327-1_14
- Jonker, C., & 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>
- Judge, R. D. E. (2012). *Towards a methodology for identifying potential sites for cemeteries*. https://vital.seals.ac.za/vital/access/manager/Repository/vital:10649?site_name=GlobalView&view=null&f0=sm_subject%3A%22Groundwater%22&f1=sm_creator%3A%22Judge%2C+Richard+David+Eadie%22&sort=sort_ss_sm_creator+asc
- Larkin, M. T. (2021). *An Analysis Of Land Use Planning Policies For Cemeteries In Ontario* [Thesis, Toronto Metropolitan University]. <https://doi.org/10.32920/ryerson.14660283.v1>
- Lazo Arevalo, M. (2017). Determinación del grado de contaminación presente en el agua subterránea por lixiviados proveniente de sepulturas de cadáveres ubicados bajo el suelo en el cementerio general de Pucallpa-Ucayali. *Universidad Nacional de Ucayali*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3787>
- Leong, E.-C., Abuel-Naga, H., Goli, V. S. N. S., Jha, B., Pathak, P., & Singh, D. N. (2021). Design of mass burial sites for safe and dignified disposal of pandemic fatalities. *Environmental Geotechnics*, 8(3), 208-216. <https://doi.org/10.1680/jenge.20.00070>

- Lotfi, S., Habibi, K., & Koohsari, M. (2009). Integrating multi-criteria models and Geographical information system for cemetery site selection (A case study of the Sanandaj city, Iran). *Acta Geographica Slovenica-geografski Zbornik - ACTA GEOGR SLOV*, 49, 179-198.
<https://doi.org/10.3986/AGS49106>
- Mahlangu, S., Lorentz, S., Diamond, R., & Dippenaar, M. (2020). Surface water-groundwater interaction using tritium and stable water isotopes: A case study of Middelburg, South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 171, 103886.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103886>
- Manciati, C. (2024, enero 29). *Variación del Nivel Freático manuscrito presentado para publicación* [Comunicación personal].
- Martins, M. T., Pellizari, V. H., Pacheco, A., Myaki, D. M., Adams, C., Bossolan, N. R., Mendes, J. M., & Hassuda, S. (1991). [Bacteriological quality of groundwaters in cemeteries]. *Revista De Saude Publica*, 25(1), 47-52. <https://doi.org/10.1590/s0034-89101991000100010>
- Miller, A., & Wiens, M. (2017). CEMETERY SETBACK DISTANCES TO PREVENT SURFACE WATER CONTAMINATION. En *National Collaborating Centre for Environmental Health at the British Columbia Centre for Disease Control, October 2017*. (pp. 200-601).
https://www.ncceh.ca/sites/default/files/Cemetery_setback_distances_surface_water_contamination-Oct_2017.pdf
- Ministerio de Salud Publica. (2013). *AM 3523 REGLAMENTO PARA FUNCIONAMIENTO DE FUNERARIAS*.
- Mosquiapa, R. (2020). Determinación de Trazas de Metales Pesados en Suelos Agrícolas Regados con Lixiviados de Cementerio a partir de Comparaciones. *Universidad César Vallejo*, 68.
- Nantes, E. (2019). EL MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PARA LA TOMA DE DECISIONES. REPASO DE LA METODOLOGÍA Y APLICACIONES. *INVESTIGACION OPERATIVA - AÑO XXVII*, 46, 54-73.

- Neckel, A., Costa, C., Mario, D. N., Sabadin, C. E. S., & Bodah, E. T. (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, 216-230.
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.009.002.AO05>
- Oliveira, C., Quinteiro, P., Caetano, Arroja, L., Silva, E., & Matias, S. (2013). Burial grounds' impact on groundwater and public health: An overview. *Water and Environment Journal*, 27, 99-106. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2012.00330.x>
- ONU. (2017, octubre 14). *Hacer de la densidad una variable fundamental*. ONU - Habitat.
<https://onuhabitat.org.mx/index.php/hacer-de-la-densidad-una-variable-fundamental>
- Pacheco, A. (2000). *Cemitério e meio ambiente* [Text, Universidade de São Paulo].
<https://doi.org/10.11606/T.44.2015.tde-23062015-131326>
- Pacheco, A., Mendes, J. M. B., Martins, T., Hassuda, S., & Kimmelman, A. A. (1991). Cemeteries— A Potential Risk to Groundwater. *Water Science and Technology*, 24(11), 97-104.
<https://doi.org/10.2166/wst.1991.0341>
- Puentes, D., & Rey, J. (2021). *EVALUACION DEL RIESGO AMBIENTAL SOBRE LOS SUELOS DEL CEMENTERIO SAN LUIS MARIA DE MONTFORT DEL MUNICIPIO DE ACACÍAS-META*. UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS.
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33876/2021duvanpuentes.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Quilumba, S. (2021, agosto 23). *Comunidad Lumbisi*. prezi.com. <https://prezi.com/p/riipxkgmo8g-/comunidad-lumbisi/>
- Rodriguez, L., & Pacheco, A. (2010). *Contaminación de aguas subterráneas por cementerios*. Actas de Medio Ambiente.
https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Groundwater%20contamination%20from%20cemeteries%20cases%20of%20study&publication_year=2010&author=L.%20Rodriguez&author=A.%20Pacheco

Silva, L. (1995). *Os cemitérios na problemática ambiental*—Google Académico.

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Os%20Cemit%C3%A9rios%20na%20Problema%20Ambiental.%20%5BThe%20cemeteries%20as%20an%20environmental%20issue%5D&author=L.%20M.%20Silva&publication_year=1995&book=Semin%C3%A1rio%20Nacional%20E2%80%98Cemit%C3%A9rios%20e%20Meio%20Ambiente%20E2%80%99.%20%5BNational%20Seminar%20E2%80%98Cemeteries%20and%20Environment%20E2%80%99%5D%2C%201%2C%20Sao%20Paulo%2C%206%20June%201995.%20Books%20of%20Abstracts

Turajo, K., Ibn Abubakar, B. S. U., Dammo, M. N., & Sangodoyin, A. (2019). Burial practice and its effect on groundwater pollution in Maiduguri, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 26. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05572-6>

U. S. Department of Veterans Affairs. (2020, noviembre 18). *Componentes del cementerio: Áreas de entierro y secciones de entierro* [General Information]. Administración Del Cementerio Nacional. https://www.cem.va.gov/cem/grants/burial_areas.asp

Üçisik, A. S., & Rushbrook, P. (1998). *THE IMPACT OF CEMETERIES ON THE ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH*. WHO Regional Office for Europe.

van Wyk, Y., Ubomba-Jaswa, E., & Dippenaar, M. A. (2022). Potential SARS-CoV-2 contamination of groundwater as a result of mass burial: A mini-review. *Science of The Total Environment*, 835, 155473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155473>

Villalva, P., & Rosselliny, E. S. (2017). *PRESENTADO POR EL BACHILLER*.

Zhang, D. (2004). *Locating Urban Cemeteries, Case Study Guilin, China*. INTERNATIONAL INSTITUTE FOR GEO-INFORMATION SCIENCE AND EARTH OBSERVATION ENSCHEDE, THE NETHERLANDS.

Zume, J. (2011). Assessing the potential risks of burial practices on groundwater quality in rural north-central Nigeria. *Journal of water and health*, 9, 609-616. <https://doi.org/10.2166/wh.2011.193>

Żychowski, J. (2008). *Wpływ Masowych Grobów z I i II Wojny...* - Google Académico.

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Impact%20of%20WW%201%20and%202%20mass%20graves%20on%20the%20natural%20environment&author=J.%20%20C5%BBBychowski&publication_year=2008&book=Impact%20of%20WW%201%20and%202%20mass%20graves%20on%20the%20natural%20environment

Zychowski, J., & Bryndal, T. (2014). Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses – a review. *Journal of Water and Health*, 301.

5 ANEXOS

ANEXO I. MATRIZ DE SAATY

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 tiene asignado uno de los números anteriores cuando se compara con el criterio j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se compara con i.	

Nota. Recuperado de **Saaty**. 1988

ANEXO II. MATRIZ PAREADA DE COMPARACIONES

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

ANEXO III. MATRIZ PAREADA DE PRIORIDADES

Cálculo de matriz de prioridades

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
1	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	5.00		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												295.34	1.00
13		10.00	13.96	47.67	152.00	31.90	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	39.83	6.83	25.57	15.62	4.88	15.62	25.57		150.34	0.0698	
16		0.73	1.05	3.28	10.00	2.28	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	22.30	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												2754.32	1.00
24		1190.10	1595.12	4795.18	16969.35	3240.76	11270.10	7328.42	2245.83	7328.42	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	2865.38	1714.42	531.19	1714.42	2865.38		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		23495.62	0.1095	
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	752.20	2593.47	497.26	1727.28	1110.29	343.44	1110.29	1727.28		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	752.20	2593.47	497.26	1727.28	1110.29	343.44	1110.29	1727.28		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	192559055.2	36857759.8	127975107.7	82200846.6	25466507.6	82200846.6	127975107.7		760772770.16	0.2951	
36		9702394.4	13019599.4	39041054.2	138537769.4	26530769.3	92168228.1	59201456.7	18341124.5	59201456.7	92168228.1		547913070.66	0.2126	
37		3187835.1	4277484.1	12826677.8	45515456.7	8716500.4	30281182.8	19440232.1	6025839.5	19440232.1	30281182.8		180021423.54	0.0698	
38		928777.5	1246322.3	3737277.1	13261811.0	2539702.8	8822996.4	5667178.7	1755733.6	5667178.7	8822996.4		52449974.44	0.0203	
39		4727007.4	6343205.8	19021026.4	67496134.2	12925940.3	44904781.6	28843266.5	8935889.5	28843266.5	44904781.6		266945326.67	0.1036	
40		1530701.6	1785664.2	5354581.1	19000797.9	3638757.0	12641119.1	8119640.8	2515524.1	8119640.8	12641119.1		75147545.89	0.0292	
41		2063574.0	2789106.3	8303586.1	29465301.7	5642783.6	19603104.4	12591475.2	3900934.8	12591475.2	19603104.4		116534445.61	0.0452	
42		6838062.1	9179981.9	27515473.2	97638853.7	18668437.4	64958305.5	41734157.5	12926508.4	41734157.5	64958305.5		386158642.72	0.1498	
43		2063574.01	2789106.32	8303586.104	29465301.7	5642783.629	19603104.38	12591475.2	3900934.771	12591475.16	19603104.38		116534445.61	0.0452	
44		13300701.58	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												2377815194.00	1.00
46		1.74E+15	2.33E+15	6.99E+15	2.48E+16	4.75E+15	1.63E+16	1.08E+16	5.28E+15	1.08E+16	1.63E+16		9.81E+16	0.2951	
47		1.25E+15	1.68E+15	5.09E+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	1.69E+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	2.38E+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	5.24E+14	1.05E+15	1.63E+15		9.66E+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	6.90291E+14	2.4491E+15	4.69028E+14	1.6294E+15	1.0466E+15	3.24245E+14	1.0466E+15	1.6294E+15		9.66E+15	0.0292	
													8.32E+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

ANEXO III. CORRIDA DE ECUACIONES PARA 10 HASTA 2 VARIABLES

10 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,2951	2	0,590	3	0,8853	2	0,5902	4	1,2	1	0,2951	4	1,180
2	B	0,2126	5	1,063	4	0,8504	3	0,6378	3	0,6	5	1,063	3	0,638
3	C	0,1498	4	0,599	3	0,4494	3	0,4494	2	0,3	3	0,4494	3	0,449
4	D	0,1036	3	0,311	3	0,3108	3	0,3108	3	0,3	3	0,3108	3	0,311
5	E	0,0698	3	0,209	3	0,2094	1	0,0698	3	0,2	3	0,2094	3	0,209
6	F	0,0452	3	0,136	2	0,0904	3	0,1356	3	0,1	3	0,1356	3	0,136
7	G	0,0452	4	0,181	3	0,1356	3	0,1356	4	0,2	3	0,1356	3	0,136
8	H	0,0292	1	0,029	1	0,0292	2	0,0584	1	0,0	1	0,0292	1	0,029
9	I	0,0292	5	0,146	5	0,146	5	0,146	5	0,1	5	0,146	5	0,146
10	J	0,0203	2	0,041	4	0,0812	5	0,1015	4	0,1	5	0,1015	5	0,102
Total				3,305	Total	3,188	Total	2,635	Total	3,211	Total	2,876	Total	3,336

9 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,3119	2	0,6238	3	0,9357	2	0,6238	4	1,2476	1	0,3119	4	1,2476
2	B	0,2206	5	1,103	4	0,8824	3	0,6618	3	0,6618	5	1,103	3	0,6618
3	C	0,1524	4	0,6096	3	0,4572	3	0,4572	2	0,3048	3	0,4572	3	0,4572
4	D	0,1033	3	0,3099	3	0,3099	3	0,3099	3	0,3099	3	0,3099	3	0,3099
5	E	0,0683	3	0,2049	3	0,2049	1	0,0683	3	0,2049	3	0,2049	3	0,2049
6	F	0,0436	3	0,1308	2	0,0872	3	0,1308	3	0,1308	3	0,1308	3	0,1308
7	G	0,0436	4	0,1744	3	0,1308	3	0,1308	4	0,1744	3	0,1308	3	0,1308
8	H	0,0282	1	0,0282	1	0,0282	2	0,0564	1	0,0282	1	0,0282	1	0,0282
9	I	0,0282	5	0,141	5	0,141	5	0,141	5	0,141	5	0,141	5	0,141
Total				3,3	Total	3,2	Total	2,6	Total	3,2	Total	2,8	Total	3,3

8 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,3311	2	0,6622	3	0,9933	2	0,6622	4	1,3244	1	0,3311	4	1,3244
2	B	0,2394	5	1,197	4	0,9576	3	0,7182	3	0,7182	5	1,197	3	0,7182
3	C	0,1551	4	0,6204	3	0,4653	3	0,4653	2	0,3102	3	0,4653	3	0,4653
4	D	0,103	3	0,309	3	0,309	3	0,309	3	0,309	3	0,309	3	0,309
5	E	0,0672	3	0,2016	3	0,2016	1	0,0672	3	0,2016	3	0,2016	3	0,2016
6	F	0,0427	3	0,1281	2	0,0854	3	0,1281	3	0,1281	3	0,1281	3	0,1281
7	G	0,0427	4	0,1708	3	0,1281	3	0,1281	4	0,1708	3	0,1281	3	0,1281
8	H	0,0288	1	0,0288	1	0,0288	2	0,0576	1	0,0288	1	0,0288	1	0,0288
Total				3,3	Total	3,2	Total	2,5	Total	3,2	Total	2,8	Total	3,3

7 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,3543	2	0,7086	3	1,0629	2	0,7086	4	1,4172	1	0,3543	4	1,4172
2	B	0,2392	5	1,196	4	0,9568	3	0,7176	3	0,7176	5	1,196	3	0,7176
3	C	0,1573	4	0,6292	3	0,4719	3	0,4719	2	0,3146	3	0,4719	3	0,4719
4	D	0,1017	3	0,3051	3	0,3051	3	0,3051	3	0,3051	3	0,3051	3	0,3051
5	E	0,065	3	0,195	3	0,195	1	0,065	3	0,195	3	0,195	3	0,195
6	F	0,0413	3	0,1239	2	0,0826	3	0,1239	3	0,1239	3	0,1239	3	0,1239
7	G	0,0413	4	0,1652	3	0,1239	3	0,1239	4	0,1652	3	0,1239	3	0,1239
Total				3,3	Total	3,2	Total	2,5	Total	3,2	Total	2,8	Total	3,4

6 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,3825	2	0,765	3	1,1475	2	0,765	4	1,53	1	0,3825	4	1,53
2	B	0,2504	5	1,252	4	1,0016	3	0,7512	3	0,7512	5	1,252	3	0,7512
3	C	0,1596	4	0,6384	3	0,4788	3	0,4788	2	0,3192	3	0,4788	3	0,4788
4	D	0,1006	3	0,3018	3	0,3018	3	0,3018	3	0,3018	3	0,3018	3	0,3018
5	E	0,0641	3	0,1923	3	0,1923	1	0,0641	3	0,1923	3	0,1923	3	0,1923
6	F	0,0428	3	0,1284	2	0,0856	3	0,1284	3	0,1284	3	0,1284	3	0,1284
Total				3,3	Total	3,2	Total	2,5	Total	3,2	Total	2,7	Total	3,4

5 Variables

DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
		Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
A	0,4185	2	0,837	3	1,2555	2	0,837	4	1,674	1	0,4185	4	1,674
B	0,2625	5	1,3125	4	1,05	3	0,7875	3	0,7875	5	1,3125	3	0,7875
C	0,1599	4	0,6396	3	0,4797	3	0,4797	2	0,3198	3	0,4797	3	0,4797
D	0,0973	3	0,2919	3	0,2919	3	0,2919	3	0,2919	3	0,2919	3	0,2919
E	0,0618	3	0,1854	3	0,1854	1	0,0618	3	0,1854	3	0,1854	3	0,1854
		Total	3,3	Total	3,3	Total	2,5	Total	3,3	Total	2,7	Total	3,4

4 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,4673	2	0,9346	3	1,4019	2	0,9346	4	1,8692	1	0,4673	4	1,8692
2	B	0,2772	5	1,386	4	1,1088	3	0,8316	3	0,8316	5	1,386	3	0,8316
3	C	0,1601	4	0,6404	3	0,4803	3	0,4803	2	0,3202	3	0,4803	3	0,4803
4	D	0,0954	3	0,2862	3	0,2862	3	0,2862	3	0,2862	3	0,2862	3	0,2862
			Total	3,2	Total	3,3	Total	2,5	Total	3,3	Total	2,6	Total	3,5

3 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,5396	2	1,0792	3	1,6188	2	1,0792	4	2,1584	1	0,5396	4	2,1584
2	B	0,297	5	1,485	4	1,188	3	0,891	3	0,891	5	1,485	3	0,891
3	C	0,1634	4	0,6536	3	0,4902	3	0,4902	2	0,3268	3	0,4902	3	0,4902
			Total	3,2	Total	3,3	Total	2,5	Total	3,4	Total	2,5	Total	3,5

2 Variables

Artículo	DESCRIPCIÓN	INDICES	Nanegal		Chillogallo- La Libertad		Tambillo		Lumbisi		Aloasi		Uyumbicho	
			Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor	Categoría	Valor
1	A	0,6667	2	1,3334	3	2,0001	2	1,3334	4	2,6668	1	0,6667	4	2,6668
2	B	0,3333	5	1,6665	4	1,3332	3	0,9999	3	0,9999	5	1,6665	3	0,9999
			Total	3,0	Total	3,3	Total	2,3	Total	3,7	Total	2,3	Total	3,7

ANEXO IV. FORMATO CONTROL INTERNO DEL MUESTREO

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

Acta de Visita Núm: _____ Fecha: ____/____/2023 Lugar de muestreo / Cementerio: _____ Código de identificación: _____

Cantón / Parroquia:		Tipo de muestra:		Compuesta	Puntual	<input checked="" type="checkbox"/> Temperatura Ambiente:	°C
IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO Y CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA							
Muestra #	Tipo Envase	Peso (Kg)	Parámetros a analizar	Coordenadas (m)	Hora	Profundidad (m)	Detalles del punto de toma
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			
			X:	Y:			

Observaciones :		Equipos:	
Responsable de toma de muestras		Responsable transporte	
Nombre:		Nombre:	
Firma:		Firma:	
Responsable Almacenamiento		Revisado por:	
Nombre:		Nombre:	
Firma:		Firma:	
Recibido por :		Revisado por:	
Nombre:		Nombre:	
Firma:		Firma:	
Fecha:		Fecha:	
		Hora:	

ANEXO V. TRATAMIENTO DE DATOS PRECIPITACION CEMENTERIO NANEGAL

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Precipitación anual (mm/año)
2003	223,9	291,6	183,1	360,9	226,8	178,1							1464,4
2004	265,1	160,9	219,9	381,5	324,9	59,2	78,3	21,9	156,3	165,2	97,1	156,9	2087,2
2005	244	383,2	328,4	284,3	139,2	18,5	12,2	13,5	34,9	48,1	79,2	215,6	1801,1
2006	214,3	651,1	388,8	462,4	139,2	100,5	21,4	81,3	53,2	123,5	285,9	206,1	2727,7
2007	313,1	186,3	332,8	404,2	302,5	91,7	138,4	71,6	37,6	64,7	145,6	163,1	2251,6
2008	581,7	447,8	411,5	340,1	310,4	154,1	125,3	91,2	161,8	147,7	81,9	188,4	3041,9
2009	96,1	387,3	364,5	188,7	169,9	117,3	36,6	25,6	2,4	59,3	7,4	277,7	1732,8
2010	162,9	358,9	244,9	328,4	178,5	93,4	201,1	50	99,3	26,6	165,8	415,9	2325,7
2011	429,2	363,7	339,9	470	131,8	112,8	147,8	31,8	105,6	102,5	14,1	192,3	2441,5
2012	543,6	442,4	298,3	315,5	145,7	88,4	42,6	8,9	14,5	81,3	177	53,3	2211,5
2013	309,7	388,1	230,3	244,9	305,8	48,3	57,1	55,8	92,9	109,5	20,4	172,1	2034,9
2014	187,6	210,9	224,2	239,2	159,4	68,7	44,9	23,9	57	88	91	148,5	1543,3
2015	330	340	325	355	265	105	50	35	60	100	102	200	2267
Precipitación mensual multianual (mm/año)	300,092 3077	354,784 6154	299,353 8462	336,546 1538	215,315 3846	95,0769 2308	79,6416 6667	42,5416 6667	72,9583 3333	93,0333 3333	105,616 6667	199,158 3333	2194,11 9231
Precipitación promedio multianual (mm/año)	2148,50 7692												

ANEXO VI. TRATAMIENTO DE DATOS PRECIPITACION CEMENTERIO LA LIBERTAD

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Precipitación anual (mm/año)
2003	53,3	88,5	86,8	55,9	70	124,4	18	18,9	45,3	104,1	154,8	89,6	909,6
2004	64	61,2	72,8	195,3	182,8	21,1	31,7	24,3	96,1	90,3	132	131,5	1103,1
2005	55,9	187,6	251	157,1	58,4	62,6	28,3	15,7	72	55,5	101,1	132,3	1177,5
2006	98,3	206,2	249,3	235,4	82,4	110,7	25,2	26,7	50,5	129,2	194,8	197	1605,7
2007	139,3	76,4	256,4	300	134,1	98,3	40,7	59,2	28	176,6	164,2	118,3	1591,5
2008	270,7	234,5	318,2	356,3	273,6	126	31,6	119,4	101,5	204	92,7	112,5	2241
2009	210,8	197,6	194,7	118,5	112,9	78,7	10,1	18,2	14,1	79,8	56,5	182,9	1274,8
2010	55,1	114,7	78,9	328,7	152,4	85,1	157,8	39,7	117,3	47,7	154,1	215,9	1547,4
2011	135,2	224,5	122,7	331,3	92,7	49,2	73,4	56	73,2	81,7	39,6	102,2	1381,7
2012	53,3	88,5	86,8	55,9	70	124,4	18	18,9	45,3	104,1	154,8	89,6	909,6
2013	82,9	232,4	122,8	127,6	111,1	101,2	30,1	45,6	79,3	186,9	27,6	85,7	1233,2
2014	65,5	192,3	173,4	98,2	47	0	2,1	95,9	96	204,7	105,9	111,4	1192,4
2015	77,9	55	170,5		102,3	43,6	98,3	46,8	67	92,1	106,9	172,4	1032,8
Precipitación mensual multianual (mm/año)	104,784 6154	150,723 0769	168,023 0769	196,683 3333	114,592 3077	78,8692 3077	43,4846 1538	45,0230 7692	68,1230 7692	119,746 1538	114,230 7692	133,946 1538	1338,22 9487
Precipitación promedio multianual (mm/año)	1323,1												

ANEXO VII. TRATAMIENTO DE DATOS PRECIPITACION CEMENTERIO TAMBILLO

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Precipitación anual (mm/año)
2003	144,7	104,4	111,5	183,7	118	117,8	7,9	32,2	101,3	153,2	200,1	110,5	1385,3
2004	58,9	66,1	74,8	150,4	147,4	24,3	28,6	3,1	98,7	136,3	152,7	187,7	1129
2005	33,3	201,4	210,2	115,7	100,1	66,8	50,6	53,9	84,1	83,7	105,8	159,4	1265
2006	93,9	188,8	167,5	262	76,3	92,2	13,1	23,6	51,6	76,5	245,9	174,6	1466
2007	171,3	55,1	229,9	264,3	243,6	59,7	62,6	34,8	16,4	201,9	326,2	117,8	1783,6
2008	246,6	275,5	263,5	257	216,4	111,5	28,5	96,7	103,1	199,5	108	126	2032,3
2009	295,4	186,6	262,4	189,9	102,8	48,2	7,1	29	9,7	86,4	88,8	209,9	1516,2
2010	45,6	103,7	114,2	289,2	149,2	100,4	196,2	52,5	79,5	89,7	249,4	304,8	1774,4
2011	138,3	193,3	143,7	262,4	92,8	61,4	69,4	76,7	56,9	197,6	30,4	164,9	1487,8
2012	254,3	227,3	197,4	219,3	64,9	10,6	19,8	20	20,5	167	169	30,5	1400,6
2013	43,7	230,5	128,1	101,9	239	9,8	8,3	43,5	38,9	191,5	45,9	79,6	1160,7
2014	107,9	82,6	152,7		30	37,4	20,8	25,5	49,9	52,1	12,2	67,5	638,6
2015	79,9	58,1	187,5	19	78,5	38,1	19,2	1,8	1,8	69,1	175,2	74,1	802,3
Precipitación mensual multianual(mm/año)	131,8307692	151,8	172,5692308	192,9	127,6153846	59,86153846	40,93076923	37,94615385	54,8	131,1153846	146,8923077	139,0230769	1387,284615
Precipitación promedio multianual (mm/año)	1372,446154												

ANEXO VIII. TRATAMIENTO DE DATOS PRECIPITACION CEMENTERIO LUMBISÍ

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Juni o	Julio	Agosto	Septiem bre	Octu bre	Noviem bre	Diciemb re	Precipita ción anual (mm/año)
2003	40,1	68,9	58,3	149,8	15	32	10,3	20,8	84,3	85,3	146,3	47,1	758,2
2004	82,3	27,3	86,2	79,7	47,4	3,4	4,4	0,7	53,8	105,4	177,9	131	799,5
2005	52,8	97,7	75,9	58,7	44	29,1	9,1	18,8	20,2	87	84	79	656,3
2006	42,4	74,8	211,8	168	30,9	45,6	4,6	3	11	101,3	153	166,4	1012,8
2007	69,2	42,5	155,6	141,3	50,7	19,7	3,6	13,1	22,3	143,4	185,1	28,6	875,1
2008	86,4	148,2	198,6	135,9	131,7	60,2	2,4	22,1	25,4	186,7	73,8	108,4	1179,8
2009	101,4	48,5	152,9	70,3	46,2	29,7	14,9	0,1	9,9	121,5	55	96,6	747
2010	15,9	83	12,1	163,4	100,4	40,7	69,6	29,5	79,1	66,4	170,4	107,6	938,1
2011	34,8	158,9	116,7	233,2	61,4	19,5	46,6	43,3	35,5	77,8	53,1	60,8	941,6
2012	76,9	59,8	95,1	114,4	16,3	8,2	1,5	2	53,3	70,2	235,9	59,8	793,4
2013	17,8	159,8	73,1	103,1	95,2	0,3	4,5	36,3	24,4	77,9	51,6	49,8	693,8
2014	66,5	65,7	131,4	36,3	116	10,7	0,8	0,4	46,9	130,5	44,5	49	698,7
Precipitación mensual multianual (mm/año)	57,2083 3333	86,2583 3333	113,9 75	121,1 75	62,9333 3333	24,9 25	14,3583 3333	15,8416 6667	38,8416 6667	104,4 5	119,216 6667	82,0083 3333	841,1916 667
Precipitación promedio multianual (mm/año)	841,191 6667												

ANEXO IX. TRATAMIENTO DE DATOS PRECIPITACION CEMENTERIO ALOASÍ

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Precipitación anual (mm/año)
2003	67,4	115,4	86,6	166,5	99,6	94,9	0	0	39,5	55,3	128,9	128,2	982,3
2004		51,9	55,4	110,8	131,4	17,8			26,1	70,8	98,2	92,9	655,3
2005	79,2	77,2	154,5	196,6	108,7	33,9	25,5	19	23,6	169,6	155,6	195,7	1239,1
2006	133,6	108,8	200,4	64,4	38,7	103,4	24,8	16,2	70,1	51,9	164,4	158,9	1135,6
2007	118	22,1	140,9	206,7	85,3	76,8	136,6	43,6	0	91,8	128,3	124,3	1174,4
2008	98,1	117	131,7	197,5	214,8	118,5	54	77,3	45,7	115,9	97,6	114,9	1383
2009	202,4	168,4	154,2	64,9	104,6	136,6	36,9	23,4	28,7	81,2	100,5	96,1	1197,9
2010	41,8	129,4	117,9	164,7	160	62,4	126,4	34,7	50,6	59,6	184,3	172,7	1304,5
2011	133,2	93	114,8	207,8	92,6	52,5	78,1	65,4	45	138,4	61,2	268,5	1350,5
2012	201,3	157,4	108,3	150,5	95,3	23,2	0	16,2	54,5	113,9	176,2	45,6	1142,4
2013	39,9	201,3	115,9	116,2		15,5	18,7	34,7		121,8	36,8	84,3	785,1
2014	76,7	86,2	79,5	75,4	43,5	32,4	24,4	8,1	2,8	83,7	136,4	5,5	654,6
2015													0
Precipitación mensual multianual(mm/año)	108,3272727	110,675	121,675	143,5	106,7727273	63,99166667	47,76363636	30,78181818	35,14545455	96,15833333	122,36666667	123,96666667	1111,124242
Precipitación promedio multianual (mm/año)	1000,361538												

ANEXO X. TRATAMIENTO DE DATOS PRECIPITACION CEMENTERIO UYUMBICHO

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Precipitación anual (mm/año)
2003	108,8	102,5	67,9	115,8	155,4	19,3	32,1	0	87,2	119,9	146,8	190,3	1146
2004	108,8	102,5	67,9	115,8	155,4	19,3	32,1	0	87,2	119,9	146,8	190,3	1146
2005	45,9	238,2	201	141,6	74,2	55	42,9	41,2	45,2	71,8	105,7	239,8	1302,5
2006	132,9	175,9	135,5	222,8	90,7	91,2	10	22,8	75,9	88,7	242,8	146,2	1435,4
2007	139,4	45,7	195,3	206,4	154	44	66,7	32,2	16,7	142,3	279,3	137	1459
2008	280,9	210,7	212,2	271,5	256,7	84,7	42,5	91,3	97	132,3	148,7	152,7	1981,2
2009	309,3	195,2	326,1	138,9	104,7	75,3	9,4	34,2	9,5	89,3	82,2	228,8	1602,9
2010	54,1	138,5	106,2	308,8	133,5	109,9	108,1	26,3	76,4	69,3	203,6	260,6	1595,3
2011	278,2	220,2		257,3	70,6	63,8	66,2	47,7	66,6	206,2	25,5	150,1	1452,4
2012		197,5	178,1	219,1	50,6	30,2	19,3	17,4	35,8	137,1	134,4	55,1	1074,6
2013	101,1	244	120,7	95,3	268,9	6,2	9,6	60,4	28,8	151,7	71,9	68,6	1227,2
2014	140,92	150,86	170,29	191,57	153,59	65,42	31,97	31,15	83,22	109,17	126,8	132,87	1387,83
2015													0
Precipitación mensual multianual(mm/año)	154,5745455	168,48	161,9263636	190,4058333	139,0241667	55,36	39,23916667	33,72083333	59,12666667	119,8058333	142,875	162,6975	1427,235909
Precipitación promedio multianual (mm/año)	1293,102308												

ANEXO XI. IMAGEN FINALIZACIÓN DEL MUESTREO

