

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

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

**DETERMINACIÓN DE LA IDONEIDAD TERRITORIAL DE CEMENTERIOS  
UBICADOS EN ZONAS MODERADAMENTE ADECUADAS Y MUY  
ADECUADAS EN LOS CANTONES QUITO, MEJÍA Y RUMIÑAHUI.**

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

**SILVANA LISBETH SUNTAXI PACHACAMA**

**[silvana.suntaxi@epn.edu.ec](mailto:silvana.suntaxi@epn.edu.ec)**

**DIRECTORA: ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL**

**[maria.aldas@epn.edu.ec](mailto:maria.aldas@epn.edu.ec)**

**DMQ, FEBRERO, 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, SILVANA LISBETH SUNTAXI PACHACAMA 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.

---

**SILVANA LISBETH SUNTAXI PACHACAMA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por SILVANA LISBETH SUNTAXI PACHACAMA, bajo mi supervisión.

---

**ING.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.

SILVANA LISBETH SUNTAXI PACHACAMA

ING. MARÍA BELÉN ALDÁS SANDOVAL

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres por su apoyo incondicional, paciencia y generosidad que me han brindado en todos estos años y que han ayudado a alcanzar mis metas y sueños.

También dedico este trabajo a mis hermanos y familiares que han estado presentes en los momentos difíciles y me han guiado sabiamente.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi directora de tesis, Ing. María Belén Aldás por el apoyo y orientación brindado durante el desarrollo de este trabajo.

A mi compañera de tesis, Wendy por su apoyo y amistad a lo largo de la carrera y en la realización de este trabajo.

A Wendy, Stefy, Betz por su amistad valiosa a lo largo de la carrera.

A mis padres, amigos y familiares que han creído en mí y me han ayudado en los momentos difíciles.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| CERTIFICACIONES .....  | II   |
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....   | III  |
| DEDICATORIA .....  | IV   |
| AGRADECIMIENTO .....   | V    |
| ÍNDICE DE CONTENIDO .....  | VI   |
| INDICE DE FIGURAS.....   | VIII |
| INDICE DE TABLAS .....   | IX   |
| RESUMEN.....   | X    |
| ABSTRACT .....   | XI   |
| 1 INTRODUCCIÓN.....  | 1    |
| 1.1 Objetivo general .....   | 2    |
| 1.2 Objetivos específicos.....   | 2    |
| 1.3 Alcance .....  | 2    |
| 1.4 Marco teórico.....   | 3    |
| 1.4.1. Ritos funerarios .....  | 3    |
| 1.4.2. Entierro convencional de cadáveres .....                                  | 3    |
| 1.4.3. Descomposición de cadáveres .....   | 4    |
| 1.4.4. Contaminación en las matrices ambientales agua y suelo .....              | 5    |
| 1.4.3.1 Contaminación en el suelo.....   | 5    |
| 1.4.3.2 Contaminación en el agua .....   | 6    |
| 1.4.4 Índices empíricos ambientales.....   | 6    |
| 1.4.4.1. Temperatura .....   | 7    |
| 1.4.4.2. Precipitación .....   | 7    |
| 1.4.4.3. Nivel freático.....   | 8    |
| 1.4.4.4. Distancia a cuerpos de agua .....                                       | 8    |
| 1.4.4.5. Pendiente del terreno .....   | 9    |
| 1.4.4.6. Textura del suelo .....   | 9    |
| 1.4.4.7. Falla geológica .....   | 10   |
| 1.4.4.8. Número de tumbas y edad del cementerio.....                             | 10   |
| 1.4.4.9. Densidad poblacional .....  | 10   |
| 1.4.5. Normativa legal nacional para la ubicación de cementerios en Ecuador...11 |      |
| 2 METODOLOGÍA .....  | 12   |
| 2.1 Área de estudio .....  | 12   |
| 2.2 Muestreo de suelo en los cementerios .....                                   | 14   |
| 2.2.1 Establecimiento de los sitios de muestreo en los cementerios.....          | 14   |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.2.2    | Procedimiento de muestreo y manejo de las muestras.....   | 14 |
| 2.3      | Obtención de datos de variables ambientales y geográficas .....                                   | 16 |
| 2.3.1    | Nivel Freático .....  | 16 |
| 2.3.2    | Distancia a cuerpos de agua .....   | 17 |
| 2.3.3    | Pendiente .....   | 17 |
| 2.3.4    | Información de estaciones meteorológicas .....  | 18 |
| 2.3.4.1. | Datos de Precipitación.....   | 18 |
| 2.3.4.2. | Datos de Temperatura.....   | 19 |
| 2.3.5    | Textura del suelo .....   | 20 |
| 2.3.6    | Falla geológica .....   | 21 |
| 2.3.7    | Año de creación de cementerio y número de tumbas .....  | 22 |
| 2.3.8    | Densidad poblacional .....  | 23 |
| 2.4      | Formulación de índices empíricos ambientales a partir de variables ambientales y geográficas..... | 23 |
| 2.4.1    | Estandarización de variables .....  | 27 |
| 3        | RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 30 |
| 3.1      | Resultados de la determinación de las variables ambientales .....                                 | 30 |
| 3.2      | Discusión de resultados .....   | 33 |
| 3.3      | Validación de los índices empíricos ambientales en cementerios moderadamente adecuados.....       | 42 |
| 3.4      | Validación de índices empíricos ambientales en Cementerios Muy adecuados                          | 45 |
| 3.5      | Comparación de resultados obtenidos a partir de datos prácticos con índice teórico.               | 49 |
| 3.6      | Conclusiones.....   | 51 |
| 3.7      | Recomendaciones.....  | 51 |
| 4        | Referencias Bibliográficas .....  | 53 |
| 5        | Anexos .....  | 57 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Enterramiento convencional.....   | 4  |
| <b>Figura 2.</b> Nivel de la napa fréatica.....  | 8  |
| <b>Figura 3.</b> Textura de suelo arenosa y arcillosa .....                                  | 10 |
| <b>Figura 4.</b> Esquema de la metodología.....  | 12 |
| <b>Figura 5.</b> Mapa de ubicación de los cementerios .....                                  | 13 |
| <b>Figura 6.</b> Puntos de muestreo en el cementerio de Chavezpamba .....                    | 14 |
| <b>Figura 7.</b> Perforación de suelo con el equipo SPT en el cementerio de Guangopolo ..... | 15 |
| <b>Figura 8.</b> Muestra extraída con cuchareta .....  | 15 |
| <b>Figura 9.</b> Muestra homogeneizada.....  | 15 |
| <b>Figura 10.</b> Equipo de medición del nivel freático. ....                                | 16 |
| <b>Figura 11.</b> Medición de distancia a cuerpos de agua.....                               | 17 |
| <b>Figura 12.</b> Mapa de pendientes.....  | 18 |
| <b>Figura 13.</b> Diagrama clase textural.....   | 21 |
| <b>Figura 14.</b> Mapa de fallas geológicas.....   | 22 |
| <b>Figura 15.</b> Matriz pareada de comparaciones .....                                      | 24 |
| <b>Figura 16.</b> Matriz de prioridades.....   | 25 |
| <b>Figura 17.</b> Índices empíricos ambientales .....  | 25 |
| <b>Figura 18.</b> Índices que se requiere validar.....                                       | 26 |
| <b>Figura 19.</b> Estandarización de variables.....  | 27 |
| <b>Figura 20.</b> Categorización de variables .....  | 29 |
| <b>Figura 21.</b> Profundidad del nivel freático .....                                       | 33 |
| <b>Figura 22.</b> Distancia a cuerpos de agua.....   | 35 |
| <b>Figura 23.</b> Topografía del terreno.....  | 36 |
| <b>Figura 24.</b> Precipitación media anual .....  | 37 |
| <b>Figura 25.</b> Temperatura media anual .....  | 39 |
| <b>Figura 26.</b> Número de tumbas.....  | 40 |
| <b>Figura 27.</b> Densidad poblacional.....  | 41 |
| <b>Figura 28.</b> Distancia a fallas geológicas .....  | 42 |
| <b>Figura 29.</b> Diagrama caja de bigotes de 3 cementerios.....                             | 47 |
| <b>Figura 30.</b> Diagrama de caja y bigotes de 2 cementerios .....                          | 48 |



## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Cementerios ubicados en el área de estudio .....                               | 13 |
| <b>Tabla 2.</b> Nivel freático en los puntos de estudio.....                                   | 17 |
| <b>Tabla 3.</b> Pendientes de los puntos de estudio .....                                      | 18 |
| <b>Tabla 4.</b> Estaciones cercanas a los cementerios .....                                    | 19 |
| <b>Tabla 5.</b> Precipitación promedio multianual .....  | 19 |
| <b>Tabla 6.</b> Temperatura media anual en la zona de los cementerios .....                    | 19 |
| <b>Tabla 7.</b> Tamices utilizados en el ensayo de textura.....                                | 20 |
| <b>Tabla 8.</b> Distancia a fallas geológicas.....   | 22 |
| <b>Tabla 9.</b> Año de creación y número de tumbas.....  | 23 |
| <b>Tabla 10.</b> Densidad poblacional del sitio donde se ubican los cementerios .....          | 23 |
| <b>Tabla 11.</b> Resultados de las variables obtenidas.....                                    | 30 |
| <b>Tabla 12.</b> Descripción de términos .....   | 31 |
| <b>Tabla 13.</b> Resultados de las variables, valor de estandarización y categoría .....       | 32 |
| <b>Tabla 14.</b> Textura del suelo .....   | 38 |
| <b>Tabla 15.</b> Validación de índices en tres cementerios con 10 variables .....              | 42 |
| <b>Tabla 16.</b> Validación de índices en 3 cementerios con 8 variables .....                  | 43 |
| <b>Tabla 17.</b> Validación de índices en 3 cementerios con 5 variables .....                  | 44 |
| <b>Tabla 18.</b> Validación de índices en 3 cementerios con 2 variables .....                  | 44 |
| <b>Tabla 19.</b> Media y desviación estándar (cementerios moderadamente adecuados) .....       | 44 |
| <b>Tabla 20.</b> Validación de índices en 2 cementerios con 10 variables .....                 | 45 |
| <b>Tabla 21.</b> Validación de índices en 2 cementerios con 8 variables .....                  | 45 |
| <b>Tabla 22.</b> Validación de índices en 2 cementerios con 5 variables .....                  | 46 |
| <b>Tabla 23.</b> Validación de índices en 2 cementerios con 2 variables .....                  | 46 |
| <b>Tabla 24.</b> Media y desviación estándar (cementerios muy adecuados) .....                 | 47 |
| <b>Tabla 25.</b> Diferencia obtenida entre datos prácticos y teóricos (Tababela) .....         | 49 |
| <b>Tabla 26.</b> Diferencia obtenida entre datos prácticos y teóricos para 2 cementerios ..... | 50 |

## RESUMEN

En el presente trabajo se validó índices empíricos ambientales diseñados para identificar zonas aptas para la ubicación de cementerios, para lo cual fue necesario realizar mediciones en campo y procesar información geográfica-ambiental de 10 variables que inciden directamente en el transporte de contaminantes a través del suelo generados del proceso de descomposición cadavérica que pueden llegar a contaminar cuerpos de agua superficial y subterránea. La primera fase empezó con el trabajo en campo, donde se midió la profundidad a la que se encuentra el nivel freático y tomó muestras de suelo para determinar la clase textural, los datos de las variables que no se pudieron determinar en campo fueron obtenidos del procesamiento de información bibliográfica y se hizo uso de herramientas como ArcGIS Pro. Una vez obtenido los valores para las 10 variables ambientales en 5 cementerios (Yaruquí, Tababela, Guangopolo, Descanso Eterno y Chavezpamba), se estandarizó en función de unos criterios de categorización establecidos en trabajos previos y se procedió a realizar la validación en 9 ecuaciones empíricas lineales. Con los resultados de la validación se comprobó que las ecuaciones son útiles para establecer zonas óptimas para la ubicación de cementerios y además se comprobó que 4 variables ambientales (nivel freático, distancia a cuerpo de agua, pendiente y precipitación), son las que mayor grado de incidencia tienen en determinar si una zona es apta o no. Finalmente se identificó que, entre los 5 cementerios, el que está ubicado en una zona más adecuada es el cementerio de Chavezpamba.

**PALABRAS CLAVE:** índice empírico ambiental, variables ambientales, nivel freático, cementerios.

## ABSTRACT

This work validated empirical environmental indices designed to identify areas suitable for the location of cemeteries, for which it was necessary to make field measurements and process geographic-environmental information on 10 variables that directly affect the transport of contaminants through the soil generated by the process of cadaveric decomposition that can contaminate surface and groundwater bodies. The first phase began with field work, where the depth of the water table was measured, and soil samples were taken to determine the textural class; the data for the variables that could not be determined in the field were obtained by processing bibliographic information and using tools such as ArcGIS Pro. Once the values were obtained for the 10 environmental variables in 5 cemeteries (Yaruquí, Tababela, Guangopolo, Descanso Eterno and Chavezpamba), they were standardized according to categorization criteria established in previous works and the validation was carried out in 9 linear empirical equations. The results of the validation showed that the equations are useful for establishing optimal areas for the location of cemeteries and showed that four environmental variables have the greatest impact on determining whether an area is suitable or not (water table, distance to a body of water, slope and precipitation). Finally, it was identified that, among the five cemeteries, the Chavezpamba cemetery is located in a very suitable area.

**KEY WORDS:** empirical environmental index, environmental variables, water table, cemeteries.

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un gran número de cementerios asentados en zonas no adecuadas, lo que puede generar un impacto ambiental negativo debido al proceso de putrefacción de cadáveres en donde se liberan lixiviados con alto grado de toxicidad y patogenicidad que puede poner en riesgo la salud humana y el ambiente (Vodopivec, s.f).

En estudios realizados por Dent & Knight (1998) acerca de la contaminación en suelo y aguas subterráneas por lixiviados, se encontró incrementos significativos de nitrato, amonio cloruro, sulfato y bicarbonato aguas abajo de los terrenos destinados a cementerios. Además, en un estudio llevado a cabo en Ohio, USA se encontró elevados niveles de metales (Cu, Fe, Pb y Zn) en muestras de suelos de cementerios, el cual puede estar relacionado directamente con los herrajes y ornamentos metálicos de los ataúdes (Vodopivec, s.f).

En nuestro país son pocas las investigaciones que se han desarrollado para evaluar la contaminación que se podría generar por cementerios. Recientemente Crisanto-Perrazo et al. (2022), Guayasamín (2021) y Arcos (2020), desarrollaron investigaciones donde identificaron zonas no adecuadas, ligeramente adecuadas, moderadamente adecuadas, muy adecuadas y completamente adecuadas para la ubicación de cementerios en Quito, Mejía y Rumiñahui y establecieron índices empíricos ambientales en base a ecuaciones lineales, que evalúan las características de una zona y definen si son sitios aptos o no, para la implementación de cementerios. En base a los trabajos de investigación mencionados previamente se definió que el presente Trabajo de Integración Curricular tiene como finalidad validar los índices empíricos ambientales mediante la medición en campo y recopilación de información bibliográfica de 10 variables ambientales que inciden en la descomposición cadavérica y contaminación del suelo y agua como lo son el nivel freático, distancia a cuerpos de agua, precipitación, pendiente, tipo de suelo, año de creación del cementerio, temperatura, número de tumbas, falla geológica y densidad poblacional.

Se comprobará si los índices empíricos ambientales propuestos por Guayasamín (2021) son útiles para determinar la idoneidad territorial en la que se encuentran asentados 5 cementerios del cantón Quito, que según el autor se encuentran en sitios moderadamente adecuados y muy adecuados para la ubicación de cementerios.

El trabajo de validación de los índices tiene como punto de partida una primera fase donde se realizará la recopilación de información geográfica y meteorológica, visitas en campo a los cementerios para toma de muestras de suelo, luego constará de una

segunda fase en la cual se procesará la información recopilada mediante la corrida de las ecuaciones empíricas lineales, finalmente con el valor obtenido de la corrida de las ecuaciones se establecerá si los índices son válidos o no para determinar la idoneidad territorial donde se encuentra asentado un cementerio.

Los índices empíricos ambientales se constituyen como una herramienta importante que ayuda a describir el estado de un ambiente o área y en la toma de decisiones, podrá ser útil para los gobiernos autónomos descentralizados, quienes por medio de esta herramienta podrían evaluar las condiciones actuales de un cementerio e implementar condiciones de mejora o en su defecto servir de punto de partida para la actualización de políticas y normas relacionadas al establecimiento seguro de cementerios (Albán & Peralta, 2017).

## **1.1 Objetivo general**

Determinar la idoneidad territorial de cementerios ubicados en zonas moderadamente y muy adecuadas en el cantón Quito.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Validar los índices empíricos ambientales que identifican la idoneidad territorial para el asentamiento de cementerios en zonas moderadamente adecuadas y muy adecuadas del cantón Quito con datos medidos en campo y bibliográficos.
- Comprobar la influencia del nivel freático, distancia a cuerpos de agua, precipitación y pendiente en la determinación de una zona apta la ubicación de cementerios.
- Determinar el cementerio que se encuentra en una zona óptima para el establecimiento en lugares seguros.
- Determinar sí los índices estiman la idoneidad de un sitio al trabajar con un menor número de variables ambientales.

## **1.3 Alcance**

El presente trabajo tiene como finalidad determinar la validez de índices empíricos ambientales que evalúan si una zona es apta o no para la ubicación de cementerios mediante la medición en campo y recopilación de información bibliográfica de 10 variables ambientales que conforman el índice. El índice empírico ambiental que se requiera validar considera múltiples variables y aspectos ambientales como el nivel freático, la distancia a cuerpos de agua, pendiente, tipo de suelo, precipitación,

temperatura, año de creación del cementerio, número de tumbas, densidad poblacional y distancia a fallas geológicas.

Para validar los índices empíricos ambientales se eligieron 5 cementerios ubicados en el Cantón Quito, que de acuerdo con la categorización dada por Crisanto-Perrazo et al. (2022) y Guayasamín (2021) pertenecen a cementerios ubicados en zonas modernamente adecuadas y muy adecuadas, estos son: Cementerio de Guangopolo, de Tababela, Cementerio San Carlos de Yaruquí, Cementerio de Chavezpamba y Camposanto "El Descanso Eterno", el trabajo en campo se realizó los fines de semana desde el 05 de agosto de 2023 hasta el 13 de agosto de 2023, durante la época seca.

Con los datos obtenidos se realizó trabajo en el laboratorio y procesó la información mediante hojas de cálculo para estandarizar los datos de las variables ambientales, con el valor de la estandarización se procedió a realizar la validación en 9 ecuaciones empíricas lineales, mediante un análisis estadístico se verificó si existe o no variabilidad en los resultados obtenidos y se estableció si los índices pueden ser o no usados para determinar zonas aptas para la ubicación de cementerios.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1. Ritos funerarios**

Una de las prácticas religiosas más antiguas de la historia es el entierro de los muertos, según Torres (2006), las primeras sepulturas fueron realizadas por el hombre de Neanderthal hace unos 100000 años, con la creencia de que la muerte no era el final de la existencia sino un tránsito del mundo de los vivos hacia un reino espiritual. Se encontraron indicios de un enterramiento Neanderthal en la cueva de Shanidar en Irán la cual estuvo rodeada de flores. Otro entierro se halló en la cordillera del Himalaya, en este lugar se halló una fosa rodeada de seis pares de cuernos de cabra montesa.

### **1.4.2. Entierro convencional de cadáveres**

El entierro es la práctica funeraria que se aplica en la mayoría de los países alrededor del mundo y puede deberse a que esta práctica de inhumación relaciona tanto al cadáver del difunto como a los deudos. En esta práctica de entierro, previamente se realiza una preservación con formaldehído con la finalidad de que el cuerpo pueda ser velado antes de la inhumación. Luego, el cuerpo es colocado en un ataúd o cofre de madera y llevado a un cementerio o camposanto para su disposición final (Guayasamín, 2021). (ver Figura 1).



**Figura 1.** Enterramiento convencional

**Fuente:** (Baron, 2017)

### **1.4.3. Descomposición de cadáveres**

La descomposición cadavérica comprende una serie de procesos físico-químicos desintegradores consecutivos, el tiempo de inicio y finalización es dependiente de factores internos y externos que envuelven al cadáver (Julca, 2016).

A partir de las 24 horas después de la muerte se da el cese total de las funciones vitales como la nerviosa, cardiovascular y respiratoria, después de transcurridas 3-5 horas del descenso, las fibras musculares se van endureciendo por la degradación progresiva del ATP en ADP y AMP. Luego por la sedimentación gravitacional de la sangre y ausencia de coagulación aparecen unas manchas cutáneas de color violeta que se conoce como lividez cadavérica. En un tiempo de 24 horas la temperatura del cadáver se va igualando a la temperatura ambiental, a la par se produce la deshidratación cadavérica, que se presenta como dos signos, el de Stenon Louis y Signo de Sommer el primero se caracteriza por la pérdida de opacidad de la córnea y hundimiento del globo ocular. El signo de Sommer se presenta como una mancha negra irregular en la parte externa del ojo debido a la oxidación de la hemoglobina en los vasos coroideos (Julca, 2016)

El ritmo de descomposición de cadáveres enterrados es mucho más lento que los cadáveres expuestos. Las condiciones bióticas y abióticas bajo tierra son diferentes a los de la superficie y se considera a la temperatura, profundidad de enterramiento y el acceso a los insectos como tres de los factores más influyentes en este proceso (Rai et al., 2022).

Cuando un cuerpo se entierra en una fosa está más protegido de las fluctuaciones de las condiciones ambientales como la lluvia, la temperatura, la humedad y la nieve ocasionando que el ritmo de descomposición sea más lento (Rai et al., 2022).

## **Putrefacción**

Es el proceso de descomposición de la materia orgánica por acción bacteriana, estas bacterias actúan selectivamente sobre proteínas, grasas, glúcidos lo que da lugar a modificaciones profundas del cadáver que llevan a su destrucción, una vez finalizada este proceso, solo persisten las partes esqueléticas calcárea mientras que las partes blandas se reintegran al ciclo bioesférico (Ledea et al., 2021). Este proceso en condiciones ambientales adecuadas podría darse en un lapso estimado entre 2 a 5 años.

### **1.4.4. Contaminación en las matrices ambientales agua y suelo**

#### **1.4.3.1 Contaminación en el suelo**

En estudios recientes se ha determinado que la mayor contaminación derivada de los cementerios en los suelos se ha originado a partir de la liberación de metales, los cuales se usan en la fabricación de ataúdes y al corroerse o degradarse pueden liberar sustancias tóxicas nocivas. Por otro lado, los conservantes de madera y las pinturas utilizadas en la fabricación de ataúdes también contienen metales. Según Neckel et al. (2021), se han identificado metales tóxicos como manganeso, níquel, cobre y vanadio en pinturas viejas, los cuales al degradarse pueden llegar al nivel freático por procesos de lixiviación y convertirse en un riesgo potencial para la salud de los residentes que viven en áreas cercanas a los cementerios.

Según Spongberg & Becks (2000) en su estudio “Contaminación inorgánica del suelo por lixiviado de cementerio”, las altas concentraciones de arsénico pueden deberse a su uso en prácticas anteriores de embalsamiento y conservación de la madera, las muestras en las que se analizó el arsénico se encontraban cerca de tumbas que databan de finales del siglo XIX y en esta época uso de arsénico era muy extendido.

Como se mencionó anteriormente la liberación de metales puede convertirse en un riesgo potencial para la salud humana, los niveles elevados de elementos metálicos en el torrente sanguíneo pueden causar diversos daños, el exceso de cobre puede causar problemas en el sistema neurológico, la ingestión de zinc puede provocar vómitos, diarrea, cólicos intestinales severos y enfermedades hepáticas, el exceso de hierro puede causar corrosión en el tracto gastrointestinal y desarrollar ciertos cánceres y enfermedades como el Alzheimer (Neckel et al., 2021).



### **1.4.3.2 Contaminación en el agua**

La descomposición de los cadáveres genera lixiviado el cual contiene bacterias y virus patógenos que pueden contaminar el agua subterránea (Velasco & Minota, 2012), las más susceptibles a este tipo de contaminación son las que se ubican en zonas con altas precipitaciones, niveles freáticos elevados y de alta permeabilidad (Carter & Tibbett, 2008). Según (Engelbrecht, 2018) en una tumba individual típica se arroja un volumen de lixiviado de 0.4 m<sup>3</sup>/año, la cantidad de lixiviado que se espera de un cementerio está relacionada directamente con el tamaño del cementerio y el número de entierros. El lixiviado contiene un 60% de agua, 30% de iones que contienen nitrógeno, fósforo, bicarbonato y compuestos metálicos, el 10% restante contiene sustancias orgánicas.

Adicionalmente este líquido se caracteriza por tener altos valores de conductividad, pH y demanda bioquímica de oxígeno (Zychowski & Bryndal, 2015). Además de contener las sustancias antes mencionadas, también puede haber presencia de otras sustancias químicas como las aplicadas en tratamientos de quimioterapia, residuos de maquillaje y pigmentos, y otras sustancias tóxicas empleadas en la fabricación de ataúdes (Velasco & Minota, 2012).

Por otro lado, la mayoría de los microorganismos presentes en el lixiviado son no patógenos ya que muchos de estos mueren después de la muerte del cuerpo huésped ya que son incapaces de vivir en condiciones ambientales inapropiadas, es por esto que muchos investigadores han sugerido que la contaminación de aguas subterráneas por virus y bacterias en cementerios se debe a contaminaciones contemporáneas (Zychowski & Bryndal, 2015), que junto a un clima cálido húmedo generan una contaminación más significativa al medio ambiente y a las aguas subterráneas (Silva, 2000) y migran rápidamente al agua subsuperficial cuando la profundidad al nivel freático es poco profunda.

### **1.4.4 Índices empíricos ambientales**

Un índice ambiental es un valor derivado de parámetros que proporciona información para describir el estado de un ambiente o área (Luege, 2020), su principal propósito es simplificar la información para que pueda ser útil tanto al público en general como a los responsables de generar estrategias y políticas ambientales en pro de mejorar la calidad de vida de la población (Albán & Peralta, 2017).

Los índices ambientales que se evalúan en este proyecto fueron los determinados por Guayasamín (2021) y la formulación de los índices se basó en la metodología de Saaty que se explicará en la sección 2.4.

Los índices se formularon a partir de 10 variables ambientales y geográficas que pueden influir en el proceso de descomposición cadavérica y generar algún impacto en el suelo y agua. Para algunos autores como Carter & Tibbett (2008), Janaway et al. (2009) y Buhas et al. (2016) la temperatura ambiental, las precipitaciones y la textura del suelo son los factores más importantes que influyen en la descomposición de un cadáver. La descomposición puede presentar un potencial de riesgo ambiental a la química del agua superficial y subterránea por lo que en investigaciones realizadas por Arcos (2020) y Guayasamín (2021), se determinó que existen otras variables que deben ser analizadas para la ubicación de cementerios como la distancia a cuerpos de agua, nivel freático, la pendiente del terreno, distancia a fallas geológicas, año de creación del cementerio, número de tumbas y densidad poblacional de la zona donde se encuentra asentado el cementerio.

#### **1.4.4.1. Temperatura**

La temperatura es un factor importante dado que incide en los procesos microbianos que ocurren de manera interna y externa en un cadáver (Janaway et al., 2009). Un aumento de la temperatura ambiental puede provocar un aumento de la velocidad de descomposición de los cadáveres, debido al incremento en el ritmo de las reacciones químicas, y las tasas de crecimiento y alimentación de las larvas de insectos necrófagos (Archer, 2004). Por el contrario, a bajas temperaturas este proceso se ralentiza y puede comenzar después de 4-7 días y, además, se ha encontrado que a temperaturas inferiores a  $-5^{\circ}\text{C}$  se detiene la acción enzimática microbiana impidiendo la descomposición (Janaway et al., 2009).

Según Guayasamín (2021), el rango de temperatura óptima para el proceso de descomposición se encuentra entre los  $21$  a  $38^{\circ}\text{C}$ .

#### **1.4.4.2. Precipitación**

La precipitación también es un factor importante debido a que un aumento en la pluviosidad puede acelerar la descomposición a través de la lixiviación y al aumentar la humedad se favorece la acción de los bacterias, gusanos e insectos necrófagos (Pawlett et al., 2023). Además, la rehidratación de los restos secos por la lluvia favorece a que

estos organismos vuelvan a colonizar los cadáveres y favorecer la descomposición (Archer, 2004).

Para la ubicación de un cementerio se debe tomar en cuenta la precipitación anual media del lugar debido a que influye directamente en la cantidad de lixiviados generados del proceso de descomposición. Cubillo (2005), recomienda que zonas con precipitaciones anuales menores a 1500 mm son buenas para la ubicación de cementerios.

#### 1.4.4.3. Nivel freático

El nivel freático es el nivel debajo del suelo que está permanentemente saturado, su profundidad bajo la superficie del suelo varía en función de las precipitaciones estacionales, como se indica en la Figura 2 (Quintanilla, 2020). La descomposición de los cuerpos genera lixiviados que puede llegar a contaminar el agua subterránea. Según Engelbrecht (2018), son más vulnerables a este tipo de contaminación las aguas subsuperficiales que se encuentran en zonas de alta pluviosidad y con niveles freáticos elevados.



**Figura 2.** Nivel de la napa freática

**Fuente:** (The University of Vermont, n.d.)

En Acuerdo Ministerial 3523 (2013), se establece que los cementerios deben ubicarse en zonas seguras donde el nivel freático se encuentre a una distancia mínima de 2,5 m de profundidad para evitar la contaminación que puede generar el lixiviado producto de la descomposición cadavérica (Velasco & Minota, 2012).

#### 1.4.4.4. Distancia a cuerpos de agua

En el Acuerdo Ministerial 3523 (2013), en el artículo 16 se establece que los cementerios deben estar situados a una distancia mínima de 200 metros de aguas de consumo, ríos, manantiales o canales de riego, si existen cuerpos en descomposición cerca de fuente de agua, se puede incrementar el riesgo de infección.

#### **1.4.4.5. Pendiente del terreno**

La pendiente interviene en la movilidad de nutrientes y contaminantes en el suelo, en pendientes más inclinadas los compuestos sobre el suelo tienden a moverse debido a la escorrentía, en el caso de pendientes más suaves los compuestos suelen ser absorbidos por el suelo por infiltración (Arcos, 2020). En el caso de terrenos ocupados por cementerios pueden filtrarse sustancias tóxicas provenientes de ataúdes metálicos y accesorios, así como los barnices, selladores y conservantes de los ataúdes de madera (Pawlett et al., 2023).

En el Reglamento General de Cementerios (2005), se establece que la topografía del terreno para la ubicación de cementerios debe tener pendientes menores al 10% y en el caso de mayor pendiente se deben construir terrazas para las fosas que terminaran en taludes pronunciados.

#### **1.4.4.6. Textura del suelo**

La capacidad de infiltración de nutrientes y contaminantes dependen de la textura del suelo, en suelos arenosos la infiltración se da con mayor facilidad debido a los espacios grandes que existen entre granos, a diferencia de los suelos arcillosos en los cuales la capacidad de infiltración es baja (Úbeda & Delgado, 2018).

Los suelos de textura gruesa (arenosos) permiten que los gases y la humedad se muevan rápidamente a través de la matriz del suelo, esta capacidad del suelo para perder humedad favorece a la desecación del cuerpo y puede inhibir la descomposición y dar lugar a la conservación natural del cadáver (Carter & Tibbett, 2008), este fenómeno se produce en algunos lugares extremos donde el suelo es arenoso y muy seco (Buhas et al., 2016).

El entierro de un cadáver en un suelo húmedo y de textura fina (arcillosa) puede ralentizar la descomposición debido a que la tasa de intercambio de oxígeno con CO<sub>2</sub> puede no ser suficiente para satisfacer la demanda microbiana aeróbica, en este caso los microorganismos anaerobios dominarán la descomposición y las condiciones reductoras promoverán la formación de adipocera alrededor del cadáver o de los órganos internos retardando significativamente la descomposición (Carter & Tibbett, 2008).

Según Dueñas (2019), los cementerios no deben construirse en suelos permeables, debido a que tienen una mayor capacidad de infiltración de contaminantes, por lo que se recomienda que un cementerio debe asentarse en terrenos con suelos sedimentarios con características arcillosas (ver Figura 3) (Cubillo, 2005).



**Figura 3.** Textura de suelo arenosa y arcillosa

Fuente: (Agromática, 2023)

#### **1.4.4.7. Falla geológica**

Se toma en cuenta este parámetro debido a que en la investigación realizada por Guayasamín (2021) el cantón Quito que es el lugar donde se ubican los cementerios en cuestión se encuentra en una zona altamente sísmica y volcánica, lo que puede afectar la estructura de las tumbas y provocar infiltraciones de contaminantes al nivel freático.

#### **1.4.4.8. Número de tumbas y edad del cementerio**

El número de tumbas influye en la cantidad de lixiviado que genera los cementerios por lo que es tomado en cuenta como una de las variables importantes en el proceso de la validación de índices (Guayasamín, 2021).

#### **1.4.4.9. Densidad poblacional**

Los cementerios pueden ocasionar problemas de salud por la prevalencia de metales pesados y contaminantes orgánicos tóxicos en el suelo, este problema se intensifica en los cementerios urbanos y pone en riesgo la salud de las personas que viven cerca.

En el Acuerdo Ministerial 3523 (2013), se establece que los cementerios deben ubicarse en zonas seguras con un bajo nivel antrópico, sin embargo, esta no puede ser la única salida. Los cementerios modernos deben buscar una relación positiva con lo urbano por medio de la aplicación de la vegetación. La recuperación de áreas verdes dentro de los cementerios favorecerá a la mejora de la calidad del aire y puede potenciar la presencia de barreras para mitigar el riesgo de contaminación a la población que se encuentra asentada en los entornos del cementerio (Franco et al., 2022).

#### **1.4.5. Normativa legal nacional para la ubicación de cementerios en Ecuador**

El Acuerdo Ministerial 3523 publicado en el Registro Oficial 28 el 3 de julio de 2013, fue emitido por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, el cual establecía el Reglamento de Servicios Funerarios y Manejo de Cadáveres, la aprobación de este acuerdo derogó el Reglamento de Salas de Velación, Empresas Funerarias, Cementerios, Criptas, Inhumaciones, Exhumaciones, Cremación, Embalsamamiento, Formolización y Transporte de Cadáveres Humanos.

En el Acuerdo 3523, se establecieron normas para la ubicación adecuada de cementerios

- En el *Artículo 3* se establece que todos los establecimientos que presten servicios de salas de velación, crematorios, tanatorios, criptas y columbarios, inclusive aquellos que presten servicios exequiales fuera de sus instalaciones, deberán obtener el respectivo permiso de funcionamiento otorgado por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria.
- En el *Artículo 15*, deben estar ubicados en zonas seguras con un bajo nivel antrópico en donde la capa freática estuviera como mínimo a 2.5m de profundidad y alejadas de vertientes o pozos de abastecimiento de agua.
- En el *Artículo 16*, establece que el área destinada a sepulturas debe estar situada como mínimo a 200 m de cuerpos de agua de consumo, manantiales o ríos.

Sin embargo, un nuevo Acuerdo Ministerial 192 del 2018 deja sin validez el acuerdo ministerial 3523, quedando invalida la normativa para la ubicación de cementerios en el territorio nacional (Guayasamín, 2021).

## 2 METODOLOGÍA

La metodología utilizada para el desarrollo de este Trabajo de Integración Curricular consistió en 3 etapas, en la primera fase se realizó la visita en campo a los cementerios para obtener información de las variables ambientales, la información de las variables que no se pudieron medir en campo se obtuvo de anuarios y datos provistos por instituciones validadas. La segunda fase consistió en el procesamiento de la información para establecer la categoría de impacto de cada variable, esto se realizó en herramientas ArcGIS y hojas de cálculo. Finalmente, definida la categoría de la variable se realizó la validación del índice mediante la corrida de 9 ecuaciones empíricas lineales, mediante un análisis estadístico se verificó si existe o no variabilidad en los resultados obtenidos para establecer si los índices pueden ser o no usados para determinar zonas adecuadas para el establecimiento de cementerios (ver Figura 4).

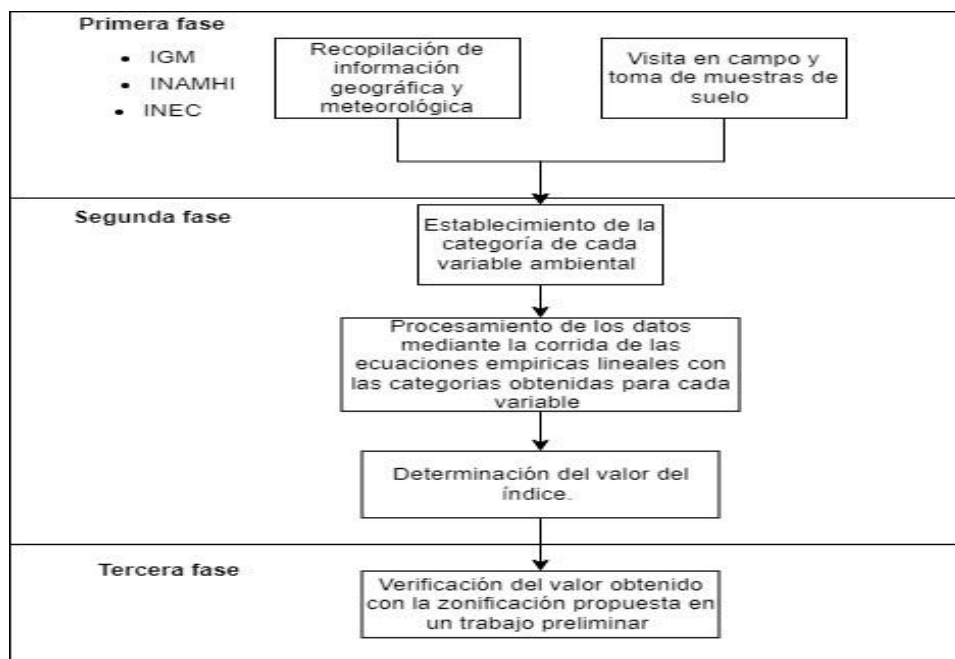


Figura 4. Esquema de la metodología

Fuente: Elaboración propia

### 2.1 Área de estudio

En el trabajo desarrollado por Guayasamin (2021) se identifican zonas adecuadas, ligeramente adecuadas, moderadamente adecuadas, muy adecuadas y completamente adecuadas para la ubicación de cementerios en Quito. De los cementerios categorizados como moderadamente adecuados y muy adecuados se seleccionó los que menos

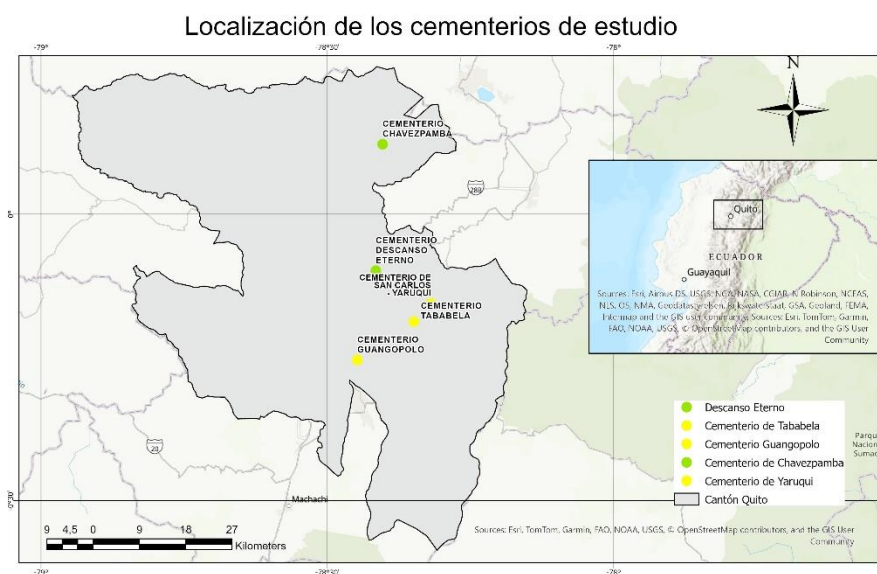
inconvenientes presentan al tomar en cuenta factores como la accesibilidad a la toma de muestras y medición de variables.

En el caso de los cementerios ubicado en Mejía y Rumiñahui el acceso para la toma de muestras fue restringido por los administradores por lo que se los descartó del presente estudio. La cantidad total de cementerios en los que se autorizó realizar el trabajo son 5, los cuales están ubicados en diferentes parroquias del Cantón Quito, el nombre del cementerio y la parroquia a la que pertenecen se detalla a continuación (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Cementerios ubicados en el área de estudio

| Cementerio                              | Categoría              | Coordenada UTM |             |
|---|------------------------|----------------|-------------|
|   |                        | Norte          | Este        |
| <b>Cementerio San Carlos de Yaruquí</b> | Moderadamente adecuado | 9982743,95     | 798441,43   |
| <b>Cementerio de Guangopolo</b>         | Moderadamente adecuado | 9971843,53     | 784116,17   |
| <b>Cementerio Tababela</b>              | Moderadamente adecuado | 9979262,00     | 795098,72   |
| <b>Descanso Eterno</b>                  | Muy adecuado           | 9989090,12     | 787702,88   |
| <b>Cementerio Chavezpamba</b>           | Muy adecuado           | 789023,18      | 10013516,18 |

Los cementerios que están dentro de las categorías antes mencionadas se localizan en las siguientes parroquias rurales: Yaruquí, Guangopolo, Tababela, Calderón y Chavezpamba. En la Figura 5 se puede observar su localización.



**Figura 5.** Mapa de ubicación de los cementerios

Fuente: Elaboración propia



## 2.2 Muestreo de suelo en los cementerios

Como una de las variables ambientales que se utiliza para validar las ecuaciones empíricas es la textura del suelo, se planificó un plan de muestreo para la toma de muestras de suelo en los cementerios que se encuentran en las categorías antes mencionadas.

### 2.2.1 Establecimiento de los sitios de muestreo en los cementerios

Para realizar el muestreo de suelos se tomó en cuenta la pendiente de lugar, se identificó el punto con mayor elevación y se definió una trayectoria hasta el punto de menor elevación, a lo largo de esta trayectoria se definieron 3 puntos de muestreo. El primer punto (punto inicial) se ubicó en la parte más alta, en un lugar donde no exista presencia de tumbas, el segundo (punto medio) se ubicó debajo de las tumbas con fechas de enterramiento entre el 2018-2023 y el último punto (punto final) en la zona con menor altitud del cementerio. En cada punto se tomaron 3 muestras puntuales a diferentes profundidades: superficial (2,0 m), media (2,5 m) y profunda (3,0 m), como se indica en la Figura 6. Adicionalmente, como las muestras se tomaron en 3 puntos diferentes, se obtuvo un total de 9 muestras puntuales de suelo por cada cementerio.



**Figura 6.** Puntos de muestreo en el cementerio de Chavezpamba

### 2.2.2 Procedimiento de muestreo y manejo de las muestras

Debido a que las muestras se deben tomar a profundidades de 2,0 m a 3,0 m se optó por utilizar un equipo de perforación para ensayos SPT (Ensayo de Penetración de Estándar) para facilitar el proceso de extracción de las muestras, como se puede observar en la Figura 7. Este equipo consta de en una cuchareta donde se recoge la muestra de suelo, la cuchara es introducida al suelo por medio de golpes del martillo.



**Figura 7.** Perforación de suelo con el equipo SPT en el cementerio de Guangopolo

#### **Procedimiento de la toma de muestra**

- Colocar la muestra extraída de la cuchara del equipo de perforación SPT (ver Figura 8), en una funda ziploc y homogeneizar (ver Figura 9).



**Figura 8.** Muestra extraída con cuchareta



**Figura 9.** Muestra homogeneizada

- Colocar la etiqueta en la muestra homogeneizada con la siguiente información: responsable de la toma de muestra, nombre del cementerio, profundidad de la muestra, ubicación del punto de muestreo y hora
- Colocar la muestra etiquetada en una hielera o cooler para garantizar su correcto almacenamiento, las muestras fueron transportadas para su análisis en el laboratorio.

## 2.3 Obtención de datos de variables ambientales y geográficas

### 2.3.1 Nivel Freático

El nivel freático se midió en campo con la ayuda de un equipo modelo WDJD-4 Multifunction Digital DC Resistivity/IP Meter a través del método 4P-VES (Schlumberger), este es un equipo de tomografía de resistividad eléctrica y resistividad geomática para detector de agua subterránea. El equipo arroja una serie de datos de los niveles freáticos a través del Software EarthImager 1D Versión 2.0.5 1D Resistivity Inversión Software. La medición del nivel freático se realizó en diferentes puntos del área del cementerio, entre el 05 de agosto al 13 de agosto de 2023 (época seca).



**Figura 10.** Equipo de medición del nivel freático.

El punto de inversión más bajo detectado por el equipo de medición es el que representa la profundidad a la que se encuentra el nivel freático (Falconí, 2024). Los resultados de la medición se indican en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Nivel freático en los puntos de estudio

| <b>Nombre del cementerio</b>     | <b>Nivel freático (m)</b> |
|----------------------------------|---------------------------|
| Cementerio de Guangopolo         | 4,52                      |
| Cementerio San Carlos de Yaruqui | 4,18                      |
| Cementerio Tababela              | 2,77                      |
| Cementerio Chavezpamba           | 4,03                      |
| Cementerio “Descanso Eterno”     | 4,11                      |

Fuente: (Falconí, 2024)

### 2.3.2 Distancia a cuerpos de agua

La medición de la distancia a los cuerpos de agua se realizó mediante el uso de herramientas como ArcGis Pro y Google Earth Pro. En el caso de Google Earth únicamente se utilizó el comando “medir distancia” y se creó la ruta que se quiere medir, entre el cementerio y el cuerpo de agua más cercano, como se indica en la siguiente Figura 11.



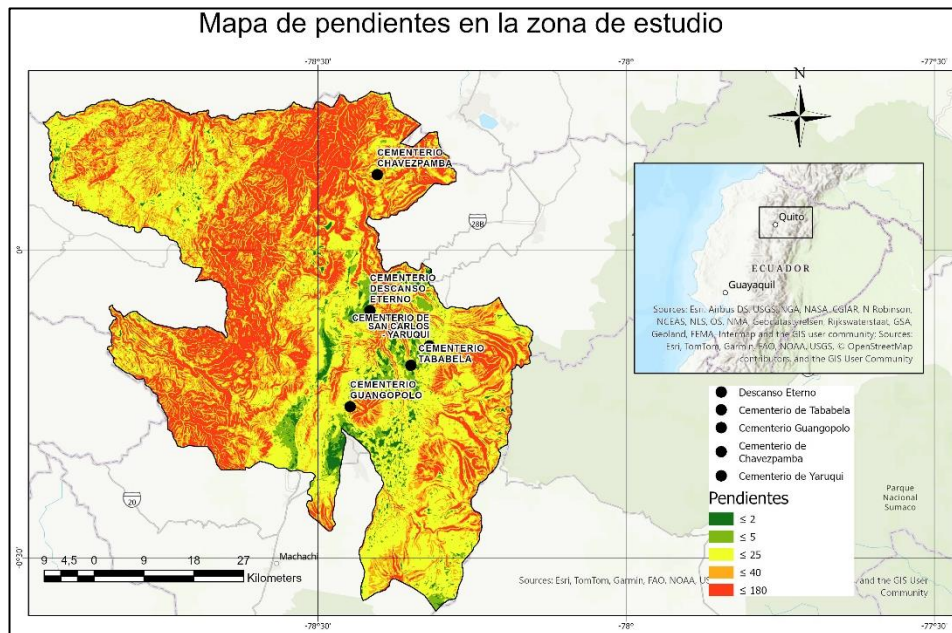
**Figura 11.** Medición de distancia a cuerpos de agua

### 2.3.3 Pendiente

Para determinar la pendiente del terreno donde se asientan los cementerios se usó el programa ArcGis Pro, la información cartográfica digital del modelo digital de elevación de la Provincia de Pichincha se obtuvo del Geoportal del Instituto Geográfico Militar. La pendiente se obtuvo con la herramienta Slope, la cual realiza análisis de pendientes partiendo de Modelos Digitales de Elevación (DEM), como unidad de medida se utilizó el



porcentaje de inclinación. En la Figura 12 se indica el mapa de pendientes de la zona de estudio.



**Figura 12.** Mapa de pendientes

Fuente: Elaboración propia

En base a la Figura 12 se establecieron las pendientes de los terrenos donde se asientan los cementerios (ver Tabla 3).

**Tabla 3.** Pendientes de los puntos de estudio

| Nombre del Cementerio            | Cota máxima(m) | Cota mínima (m) | Pendiente (%) |
|----------------------------------|----------------|-----------------|---------------|
| Cementerio de Guangopolo         | 2497           | 2484            | 4             |
| Cementerio San Carlos de Yaruqui | 2559           | 2555            | 8,06          |
| Cementerio Tababela              | 2474           | 2469            | 31,82         |
| Cementerio Chavezpamba           | 2276           | 2273            | 5,85          |
| Cementerio "Descanso Eterno"     | 2507           | 2493            | 20            |

### 2.3.4 Información de estaciones meteorológicas

#### 2.3.4.1. Datos de Precipitación

Los datos de precipitación se obtuvieron de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) (ver Anexo II), de las estaciones que se encuentran más cercanas a los cementerios que son objeto de estudio. Se utilizó datos

de los valores pluviométricos anuales (mm) desde el 2003 al 2013, es decir una base de datos de 10 años. En la Tabla 4 se indican las estaciones meteorológicas de las cuales se obtuvo los datos pluviométricos.

**Tabla 4.** Estaciones cercanas a los cementerios

| Código de la Estación | Nombre de la Estación | Coordenada UTM |        | Período de datos |
|-----------------------|-----------------------|----------------|--------|------------------|
|                       |                       | Norte          | Este   |                  |
| <b>M346</b>           | Yaruquí INAHMI        | 9982295        | 798882 | 2003-2013        |
| <b>M361</b>           | Nono                  | 9991924        | 770145 | 2003-2013        |
| <b>M345</b>           | Calderón              | 9989120        | 787093 | 2003-2013        |
| <b>M337</b>           | San José de Minas     | 10018699       | 790193 | 2003-2013        |
| <b>M002</b>           | La Tola               | 9974245        | 792888 | 2003-2013        |

Para estimar el comportamiento de la precipitación durante los últimos 10 años se calculó el promedio multianual, el cual se obtuvo a partir del promedio aritmético de los valores de precipitación anual total para cada estación (ver Tabla 5).

**Tabla 5.** Precipitación promedio multianual

| Nombre del cementerio            | Precipitación promedio multianual (2003-2013) |
|----------------------------------|---|
| Cementerio de Guangopolo         | 841,19mm                                      |
| Cementerio San Carlos de Yaruquí | 735,76mm                                      |
| Cementerio Tababela              | 735,76mm                                      |
| Cementerio Chavezpamba           | 1261,14mm                                     |
| Cementerio "Descanso Eterno"     | 573,02mm                                      |

#### 2.3.4.2. Datos de Temperatura

La temperatura media anual de las zonas donde están asentados los cementerios se obtuvo del Atlas Climático de Pichincha (2016), considerando las estaciones meteorológicas más cercanas a los cementerios. Esta información se resume en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Temperatura media anual en la zona de los cementerios

| Nombre del Cementerio            | Código de la Estación | Nombre de la Estación | Temperatura media anual °C (1989-2010) |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| Cementerio de Guangopolo         | M0114                 | Estación Tumbaco      | 16,8                                   |
| Cementerio San Carlos de Yaruquí | M0002                 | Estación La Tola      | 15,6                                   |
| Cementerio Tababela              | M0002                 | Estación La Tola      | 15,6                                   |
| Cementerio Chavezpamba           | M0214                 | Estación Perucho      | 18,5                                   |
| Cementerio "Descanso Eterno"     | M1200                 | Estación Pomasqui     | 15,4                                   |

### 2.3.5 Textura del suelo

El ensayo para determinar la clase textural se basó en la norma ASTM D-422. Este método de ensayo abarca la determinación cuantitativa de la distribución de los tamaños de las partículas de los suelos. En la Tabla 7 se indica los números de mallas de los tamices utilizados y sus aberturas.

**Tabla 7.** Tamices utilizados en el ensayo de textura

| 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         |

Fuente: (Carbotecnia, 2022).

#### Equipos y materiales

- Horno de secado
- Balanza
- Taras y brocha
- Serie de tamices según tabla N°5

#### Procedimiento del ensayo

- Pesar la muestra aproximadamente entre 40-60 g.
- Colocar la muestra de suelo sobre el tamiz N°40 y lavar, luego el material retenido por cada tamiz es separado y secado en el horno por 24 horas.
- Determinar el peso de cada fracción, a suma de los pesos de todas fracciones y el peso inicial de la muestra no debe ser diferente en más de 1%.

#### Procedimiento de cálculo

Se procede a calcular el porcentaje retenido por cada tamiz con la siguiente ecuación

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

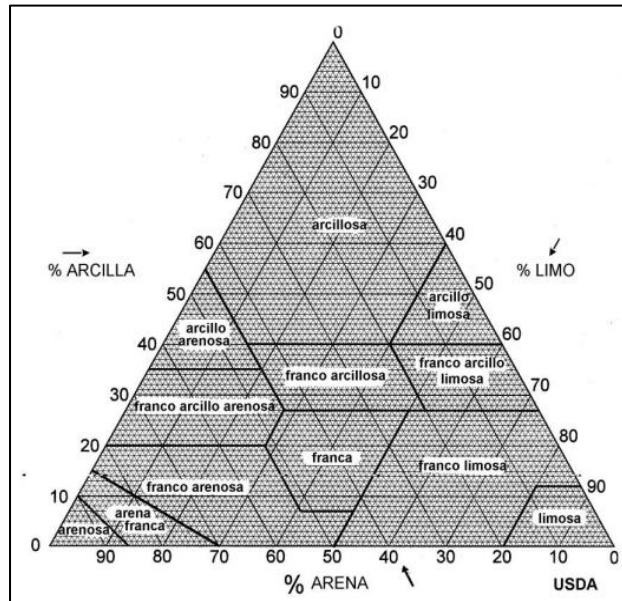
**Ecuación 1.** Porcentaje retenido en el tamiz

Donde:

$W_{\text{tamiz}}$ = peso de partículas retenido en el tamiz

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

Una vez determinado el porcentaje de suelo de cada tamiz se clasificó según el tamaño de la partícula en arenas, limos y finos. Para definir la clase textural a la cual pertenece cada una de las muestras se empleó el método del Triángulo de texturas, dispuesto por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (ver Figura 13).



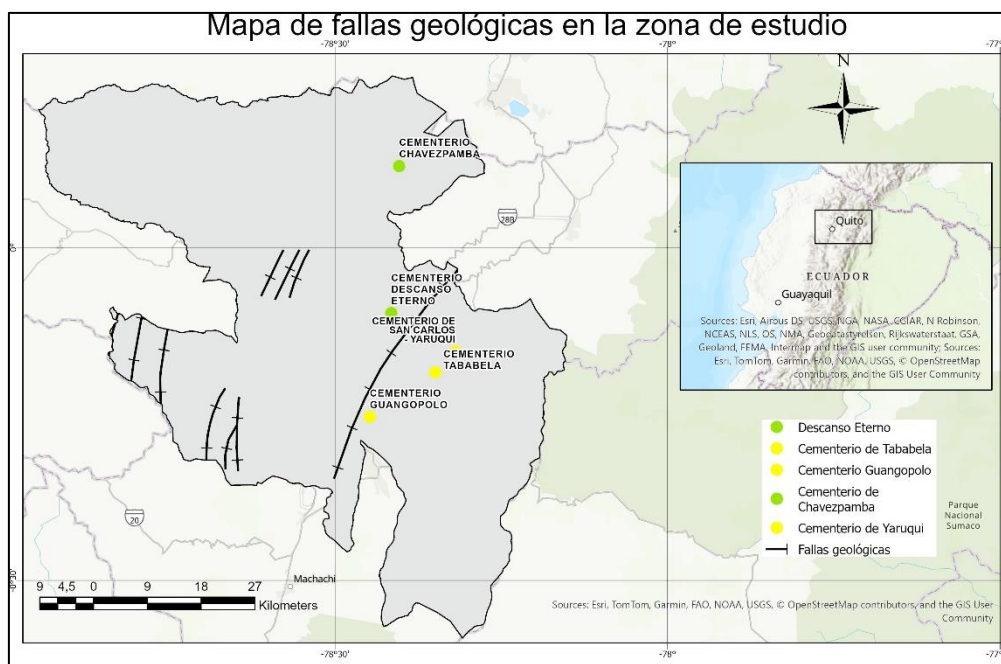
**Figura 13.** Diagrama clase textural

Fuente: (Gisbert Blanquer et al., 2010)

### 2.3.6 Falla geológica

La información de las fallas geológicas se obtuvo del portal del IGM en formato shapefile. Se verificó la distancia a las fallas geológicas mediante la opción medir distancia. El mapa de fallas geológicas se indica en la Figura 14.





**Figura 14.** Mapa de fallas geológicas

Fuente: Elaboración propia

La ciudad de Quito está atravesada por un sistema de fallas geológicas que se extiende desde El Tablón al sur hasta Calderón en el norte, como atraviesa la ciudad entera, hay sitios que son más propensos a sufrir sismos ocasionales de magnitudes superiores a 4 grados (Ojeda, 2020). La distancia a la que se encuentran los cementerios de las fallas se presenta en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Distancia a fallas geológicas

| Nombre del cementerio            | Distancia a fallas geológicas (km) |
|----------------------------------|------------------------------------|
| Cementerio de Guangopolo         | 1,98                               |
| Cementerio San Carlos de Yaruqui | 8,65                               |
| Cementerio Tababela              | 7,92                               |
| Cementerio Chavezpamba           | 20                                 |
| Cementerio "Descanso Eterno"     | 3,9                                |

### 2.3.7 Año de creación de cementerio y número de tumbas

El año de creación del cementerio y el número de tumbas se obtuvo de manera bibliográfica de información disponible en la web y de visitas en campo, así como llamadas telefónicas a los administradores de los cementerios (ver Tabla 9).

**Tabla 9.** Año de creación y número de tumbas

| <b>Nombre del cementerio</b>     | <b>Edad del Cementerio</b> | <b>Número de tumbas</b> |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Cementerio de Guangopolo         | 1950                       | 470                     |
| Cementerio San Carlos de Yaruqui | 1985                       | 3500                    |
| Cementerio Tababela              | 1952                       | 600                     |
| Cementerio Chavezpamba           | 1910                       | 300                     |
| Cementerio "Descanso Eterno"     | 1980                       | 400                     |

### **2.3.8 Densidad poblacional**

Para determinar la densidad poblacional se obtuvo datos del número de habitantes de las parroquias donde se encuentran ubicados los cementerios y la superficie del Censo Poblacion y Vivienda 2010 provistos por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en su página web. En cuanto a la idoneidad para el asentamiento de cementerios en el Acuerdo Ministerial 3523 (2013), recomienda que deben asentarse en lugares con bajo nivel antrópico. En la Tabla 10 se indica la densidad poblacional que se va a utilizar para validar las ecuaciones.

**Tabla 10.** Densidad poblacional del sitio donde se ubican los cementerios

| <b>Nombre del cementerio</b>     | <b>Nombre de la parroquia</b> | <b>Población (hab)</b> | <b>Superficie de la parroquia (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Densidad Poblacional( hab/km<sup>2</sup>)</b> |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------------|--|--|
| Cementerio San Carlos de Yaruquí | Yaruquí                       | 17.854                 | 71,95  | 248,14   |
| Cementerio de Guangopolo         | Guangopolo                    | 3.059                  | 10,19  | 300,20   |
| Cementerio Tababela              | Tababela                      | 2.823                  | 25,33  | 111,45   |
| Cementerio "Descanso Eterno"     | San Miguel del Común          | 3000                   | 10,45  | 287,08   |
| Cementerio Chavezpamba           | Chavezpamba                   | 801                    | 12,31  | 65,07  |

## **2.4 Formulación de índices empíricos ambientales a partir de variables ambientales y geográficas**

Los índices empíricos ambientales que se requieren validar fueron los propuestos por Guayasamín (2021), se obtuvieron a partir de la relación de las variables cuantitativas y

cualitativas mediante la matriz de Saaty. A continuación, se explicará el proceso de obtención de los índices que fue realizada por el autor antes mencionado.

### Matriz pareada de comparaciones

Para Guayasamín (2021) algunas variables pueden ser de mayor importancia que otras, por lo tanto, generó una matriz pareada compuesta por todas las comparaciones de las variables como se indica en la Figura 15, la importancia de una variable respecto a otra lo valoró siguiendo la escala de Saaty.

|                      | Nivel freático | DCA  | Tipo de suelo | Densidad poblacional | Pendiente | Número de tumbas | Edad del cementerio | Precipitación | Temperatura | Falla geológica |
|----------------------|----------------|------|---------------|----------------------|-----------|------------------|---------------------|---------------|-------------|-----------------|
| Nivel freático       | 1,00           | 2,00 | 5,00          | 8,00                 | 4,00      | 7,00             | 6,00                | 3,00          | 6,00        | 7,00            |
| DCA                  | 0,50           | 1,00 | 4,00          | 7,00                 | 3,00      | 6,00             | 5,00                | 2,00          | 5,00        | 6,00            |
| Tipo de suelo        | 0,20           | 0,25 | 1,00          | 4,00                 | 0,50      | 3,00             | 2,00                | 0,33          | 2,00        | 3,00            |
| Densidad poblacional | 0,13           | 0,14 | 0,25          | 1,00                 | 0,20      | 0,50             | 0,33                | 0,17          | 0,33        | 0,50            |
| Pendiente            | 0,25           | 0,33 | 2,00          | 5,00                 | 1,00      | 4,00             | 3,00                | 0,50          | 3,00        | 4,00            |
| Número de tumbas     | 0,14           | 0,17 | 0,33          | 2,00                 | 0,25      | 1,00             | 0,50                | 0,20          | 0,50        | 1,00            |
| Edad del cementerio  | 0,17           | 0,20 | 0,50          | 3,00                 | 0,33      | 2,00             | 1,00                | 0,25          | 1,00        | 2,00            |
| Precipitación        | 0,33           | 0,50 | 3,00          | 6,00                 | 2,00      | 5,00             | 4,00                | 1,00          | 4,00        | 5,00            |
| Temperatura          | 0,17           | 0,20 | 0,50          | 3,00                 | 0,33      | 2,00             | 1,00                | 0,25          | 1,00        | 2,00            |
| Falla geológica      | 0,14           | 0,17 | 0,33          | 2,00                 | 0,25      | 1,00             | 0,50                | 0,20          | 0,50        | 1,00            |

**Figura 15.** Matriz pareada de comparaciones

Fuente: (Guayasamín, 2021)

### Matriz de prioridades

Los índices se establecieron de los valores de priorización asignados para cada variable, Guayasamín (2021) determinó estos valores al elevar la matriz pareada de comparaciones (ver Figura 15), hasta la cuarta potencia. Luego sumó cada fila resultante de elevar a la cuarta potencia y dividió cada una por la suma total de todas las filas.

Finalmente obtuvo la matriz de prioridades con el peso de cada variable, lo cuales son los componentes de los índices que se requiere validar (ver Figura 16).

| Ítem | Variable                       | Valor de priorización |
|------|--------------------------------|-----------------------|
| A    | Nivel freático                 | 0,2951                |
| B    | Distancia a cuerpo de agua     | 0,2126                |
| C    | Precipitación                  | 0,1498                |
| D    | Pendiente                      | 0,1036                |
| E    | Tipo de suelo                  | 0,0698                |
| F    | Año de creación del cementerio | 0,0452                |
| G    | Temperatura                    | 0,0452                |
| H    | Numero de tumbas               | 0,0292                |
| I    | Falla geológica                | 0,0292                |
| J    | Densidad Poblacional           | 0,0203                |

**Figura 16.** Matriz de prioridades

Fuente: (Guayasamín, 2021)

A partir del peso de la variable o valor de priorización se estableció el primer índice empírico ambiental conformado de la suma de las 10 variables multiplicado por los valores de priorización, como no siempre es posible contar con los datos de las 10 variables se establecieron 8 índices más conformados por ecuaciones lineales de 9 hasta 2 variables, como se indica en la Figura 17, cabe mencionar que se indican los coeficientes de priorización con 2 decimales, en lo posterior se usaran los coeficientes con 4 decimales con el fin de reducir errores de cálculo y tener resultados más exactos.

Además, se debe tomar en cuenta que 4 variables constituyen el 76,11% del peso total del índice, estas son nivel freático (29,51%), distancia a cuerpos de agua (21,26%), precipitación (14,98%) y pendiente (10,36%). Las cuales van a influir altamente para determinar la aptitud de un sitio, además de intervenir en la movilidad de contaminantes hacia el agua subterránea y afectar la química del suelo (Crisanto-Perrazo et al., 2022) .

| Descripción                    | Variables |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                                | 10        | 9    | 8    | 7    | 6    | 5    | 4    | 3    | 2    | 1   |
| Nivel freático(A)              | 0,3       | 0,31 | 0,33 | 0,35 | 0,38 | 0,42 | 0,47 | 0,54 | 0,67 | 1   |
| Distancia a fuente de agua (B) | 0,21      | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,28 | 0,3  | 0,33 |     |
| Precipitación (C)              | 0,15      | 0,15 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | -    | -   |
| Pendiente (D)                  | 0,1       | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | 0,1  | -    | -    | -   |
| Tipo de suelo (E)              | 0,07      | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | -    | -    | -    | -   |
| Edad del cementerio (F)        | 0,05      | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | -    | -    | -    | -    | -   |
| Temperatura (G)                | 0,05      | 0,04 | 0,04 | 0,04 | -    | -    | -    | -    | -    | -   |
| Número de tumbas (H)           | 0,03      | 0,03 | 0,03 |      | -    | -    | -    | -    | -    | -   |
| Falla geológica (I)            | 0,03      | 0,03 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -   |
| Densidad Poblacional (J)       | 0,02      | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -   |
| Suma                           | 1,0       | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0 |

**Figura 17.** Índices empíricos ambientales

Fuente: (Guayasamín, 2021)

A partir de los índices que se indican en la Figura 17, se obtuvo las ecuaciones lineales empíricas, las cuales están constituidas por un coeficiente de priorización que indica el peso que tiene una variable en el índice. En la Figura 18 se presenta 9 ecuaciones empíricas lineales que se va a utilizar para evaluar la posible contaminación en cementerios, y se ajustan a las necesidades de cada investigador, como no siempre es posible contar con todos los datos en campo, las ecuaciones se han diseñado para dar un criterio aun cuando no se disponga con todos los medios necesarios.

**Número de variables: 10**

$$0,2915A + 0,2126B + 0,1498C + 0,1036D + 0,06987E + 0,0452F + 0,0452G + 0,0292H + 0,0292I + 0,0203J$$

**Número de variables: 9**

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

**Número de variables: 8**

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

**Número de variables: 7**

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

**Número de variables: 6**

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

**Número de variables: 5**

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

**Número de variables: 4**

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

**Número de variables: 3**

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

**Número de variables: 2**

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

**Figura 18.** Índices que se requiere validar

**Fuente:** (Guayasamín, 2021)

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.

Guayasamín (2021) definió que una vez sumada la ecuación con sus respectivas variables obtenidas de mediciones en campo o de datos bibliográficos, si el valor resultante se encuentra entre un rango de 4,01 a 5 la ubicación del cementerio puede considerarse crítica, al encontrarse en un rango de 3,01 a 4 se considera como ligeramente adecuado, mientras que al encontrarse en un rango de 2,01 a 3 puede ser moderadamente adecuado, en un rango entre 1,01 a 2 como muy adecuado y entre 0,1 a 1 como completamente adecuado.

#### 2.4.1 Estandarización de variables

Los valores de las variables ambientales que se van a usar en la validación de los índices deben ser estandarizados para que trabajen en las mismas magnitudes. Arcos (2020) definió una escala de estandarización de 1 al 5, donde los criterios calificados entre 1-2 caracterizan sitios adecuadas para la ubicación de cementerios, los criterios calificados como 3 son moderadamente adecuados y los criterios entre 4-5 no cumplen las condiciones adecuadas para su ubicación. La estandarización de las variables del presente trabajo se basará en la escala de valores propuesta por los autores antes citados.

Además, cada categoría se identificará según un color, se usará color rojo para la categoría “no adecuado”, naranja para la categoría “ligeramente adecuado”, amarillo para la categoría “moderadamente adecuado”, verde claro para la categoría “muy adecuado” y verde oscuro para la categoría “completamente adecuado” (Ver Figura 19).

| Valor | Categoría              | Identificación |
|-------|------------------------|----------------|
| 5     | No adecuado            | Rojo           |
| 4     | Ligeramente adecuado   | Naranja        |
| 3     | Moderadamente adecuado | Amarillo       |
| 2     | Muy adecuado           | Verde claro    |
| 1     | Completamente adecuado | Verde oscuro   |

**Figura 19.** Estandarización de variables

Fuente: (Guayasamín, 2021)

Una vez que se han definido las condiciones en las que se basará este trabajo, se presenta la escala de categorización realizada por Guayasamín (2021) para cada una de las variables ambientales, en base a esta escala se categorizará las variables que se han medido en campo o determinado bibliográficamente (ver Figura 20).

| Variable                    | Criterio               | Valor | Categoría              |
|-----------------------------|------------------------|-------|------------------------|
| <b>NIVEL FREÁTICO</b>       | 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 |
| <b>HIDROGRAFÍA</b>          | 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 |
| <b>PRECIPITACIÓN</b>        | > 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 |
| <b>PENDIENTE</b>            | 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 |
| <b>TEXTURA DEL SUELO</b>    | 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 |
| <b>TEMPERATURA AMBIENTE</b> | > 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 |

|                             |                                      |   |                        |
|-----------------------------|--------------------------------------|---|------------------------|
| <b>NÚMERO DE TUMBAS</b>     | > 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 |
| <b>DENSIDAD POBLACIONAL</b> | Muy Alta > 160 hab/km <sup>2</sup>   | 5 | No adecuado            |
|                             | Alta 81-160 hab/km <sup>2</sup>      | 4 | Ligeramente adecuado   |
|                             | Media 21-80 hab/km <sup>2</sup>      | 3 | Moderadamente adecuado |
|                             | Baja 3-20 hab/km <sup>2</sup>        | 2 | Muy adecuado           |
|                             | Zonas vacías 0-2 hab/km <sup>2</sup> | 1 | Completamente adecuado |
| <b>EDAD DEL CEMENTERIO</b>  | < 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 |
| <b>FALLA GEOLÓGICA</b>      | 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 20.** Categorización de variables

Fuente: (Guayasamín, 2021)



### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados de la determinación de las variables ambientales

Para validar los índices empíricos ambientales se requiere contar con información de las variables, esta información fue recopilada de distintas maneras según las características de la variable. Del procesamiento de información hidrometeorológica se determinó la temperatura y precipitación media anual, del análisis Geoespacial con ArcGIS la pendiente, fallas geológicas y distancias a cuerpos de agua, de trabajo experimental realizado en el laboratorio se determinó la textura del suelo, de visitas en campo se obtuvo información del año de creación del cementerio y número de tumbas, de mediciones en campo el nivel freático y de información bibliográfica la densidad poblacional.

Los resultados obtenidos de las 10 variables ambientales con sus respectivas magnitudes para cada uno de los cementerios en cuestión se encuentran detallados en la Tabla 11, estos resultados están divididos según la categoría del cementerio, y serán los datos que se van a utilizar para validar los índices empíricos ambientales.

**Tabla 11.** Resultados de las variables obtenidas

| Variables  | Cementerios            |                        |                        |                        |                        |
|--|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|  | Moderadamente Adecuado |                        |                        | Muy adecuado           |                        |
|  | Guangopolo             | Yaruquí                | Tababela               | Chavezpamba            | Descanso eterno        |
| <b>Nivel freático (m)</b>                        | 4,52                   | 4,18                   | 2,77                   | 4,03                   | 4,11                   |
| <b>Distancia a fuentes de agua (m)</b>           | 495,38                 | 625                    | 218,14                 | 1479,46                | 116                    |
| <b>Precipitación (mm)</b>                        | 841,19                 | 735,76                 | 735,76                 | 1261,14                | 573,02                 |
| <b>Pendiente (%)</b>                             | 4                      | 8,06                   | 31,82                  | 5,85                   | 20                     |
| <b>Tipo de suelo</b>                             | Franco arcillo arenosa | Franco arcillo arenosa | Franco arcillo arenosa | Franco arcillo arenosa | Franco arcillo arenosa |
| <b>Año de creación del cementerio</b>            | 1950                   | 1985                   | 1952                   | 1910                   | 1980                   |
| <b>Temperatura (°C)</b>                          | 16,8                   | 15,6                   | 15,6                   | 18,5                   | 15,4                   |
| <b>Número de tumbas (unidades)</b>               | 470                    | 3500                   | 600                    | 300                    | 400                    |
| <b>Falla geológica (km)</b>                      | 0,83                   | 1,13                   | 1,48                   | 2,79                   | 0,12                   |
| <b>Densidad Poblacional (hab/km<sup>2</sup>)</b> | 300                    | 248                    | 111                    | 65                     | 287                    |

Como los datos de la Tabla 11 tienen diferentes unidades de medida o magnitudes se requiere estandarizarlos para ingresarlos en las ecuaciones lineales empíricas que se requiere validar.

Para facilitar este proceso se elaboró una hoja Excel y automatizó con la finalidad de que, al ingresar el criterio o dato de la variable, arroje como resultado el valor estandarizado y la categoría. Los valores de estandarización se encuentran entre 1 a 5, en el caso del nivel freático en el cementerio de Guangopolo el valor medido es de 4,53 m como al compararse con la Figura 20 es mayor a 4,5 m se le asigna un valor de 1. Este procedimiento se realizó para cada una de las variables en los 5 cementerios en cuestión.

A continuación, se va a definir lo que representa la variable, criterio, valor y la categoría en el procesamiento de validación de los índices a fin de no confundir estos términos en la continuidad del trabajo (ver Tabla 12).

**Tabla 12.** Descripción de términos

| <b>Ítem</b>      | <b>Descripción</b>   |
|------------------|--|
| <b>Variable</b>  | Condición geográfica o ambiental que inciden en la ubicación de cementerios y tiene potencial de contaminar el suelo o agua. |
| <b>Criterio</b>  | Valor obtenido del procesamiento de datos que se va a usar para validar el índice  |
| <b>Valor</b>     | Número comprendido entre 1-5 resultante de la estandarización de variables   |
| <b>Categoría</b> | Indica zonas más óptimas y menos adecuadas para la ubicación de cementerios.   |

Una vez definidos estos términos se presenta la Tabla 13, la cual se encuentra dividida según la categoría del cementerio, y reúne los resultados de cada variable ambiental, su valor de estandarización y categorización.

**Tabla 13.** Resultados de las variables, valor de estandarización y categoría

| Variable                                    | Cementerio de Guangopolo |       |                        | Cementerio de Yaruquí  |       |                        | Cementerio de Tababela |       |                        | Cementerio de Chavezpamba |       |                        | Camposanto El Descanso Eterno |       |                        |
|---|--------------------------|-------|------------------------|------------------------|-------|------------------------|------------------------|-------|------------------------|---------------------------|-------|------------------------|-------------------------------|-------|------------------------|
|   | Criterio                 | Valor | Categoría              | Criterio               | Valor | Categoría              | Criterio               | Valor | Categoría              | Criterio                  | Valor | Categoría              | Criterio                      | Valor | Categoría              |
| Nivel freático (m)                          | 4,52                     | 1     | Completamente adecuado | 4,18                   | 2     | Muy adecuado           | 2,77                   | 3     | Moderadamente adecuado | 4,03                      | 2     | Muy adecuado           | 4,11                          | 2     | Muy adecuado           |
| Distancia a cuerpo de agua (m)              | 495,38                   | 4     | Ligeramente adecuado   | 625                    | 3     | Moderadamente adecuado | 218,14                 | 4     | Ligeramente adecuado   | 1479,46                   | 3     | Moderadamente adecuado | 116                           | 5     | No adecuado            |
| Precipitación (mm)                          | 841,19                   | 2     | Muy adecuado           | 735,76                 | 2     | Muy adecuado           | 735,76                 | 2     | Muy adecuado           | 1261,14                   | 3     | Moderadamente adecuado | 573,02                        | 2     | Muy adecuado           |
| Pendiente (%)                               | 4                        | 2     | Muy adecuado           | 8,06                   | 3     | Moderadamente adecuado | 31,82                  | 4     | Ligeramente adecuado   | 5,85                      | 3     | Moderadamente adecuado | 20                            | 3     | Moderadamente adecuado |
| Textura del Suelo                           | Franco arcillo arenoso   | 3     | Moderadamente adecuado | Franco arcillo arenoso | 3     | Moderadamente adecuado | Franco arcillo arenoso | 3     | Moderadamente adecuado | Franco arcillo arenoso    | 3     | Moderadamente adecuado | Franco arcillo arenoso        | 3     | Moderadamente adecuado |
| Año de creación del cementerio              | 1950                     | 3     | Moderadamente adecuado | 1985                   | 2     | Muy adecuado           | 1952                   | 3     | Moderadamente adecuado | 1910                      | 4     | Ligeramente adecuado   | 1980                          | 3     | Moderadamente adecuado |
| Temperatura Ambiente (°C)                   | 16,8                     | 4     | Ligeramente adecuado   | 15,6                   | 4     | Ligeramente adecuado   | 15,6                   | 4     | Ligeramente adecuado   | 18,5                      | 4     | Ligeramente adecuado   | 15,4                          | 4     | Ligeramente adecuado   |
| Numero de tumbas(und)                       | 470                      | 1     | Completamente adecuado | 3500                   | 2     | Muy adecuado           | 600                    | 1     | Completamente adecuado | 300                       | 1     | Completamente adecuado | 400                           | 1     | Completamente adecuado |
| Falla geológica(km)                         | 1,98                     | 5     | No adecuado            | 8,65                   | 4     | Ligeramente adecuado   | 7,92                   | 4     | Ligeramente adecuado   | 20                        | 2     | Muy adecuado           | 3,9                           | 5     | No adecuado            |
| Densidad poblacional (hab/km <sup>2</sup> ) | 300                      | 5     | No adecuado            | 248                    | 5     | No adecuado            | 111                    | 4     | Ligeramente adecuado   | 65                        | 3     | Moderadamente adecuado | 1930                          | 5     | No adecuado            |

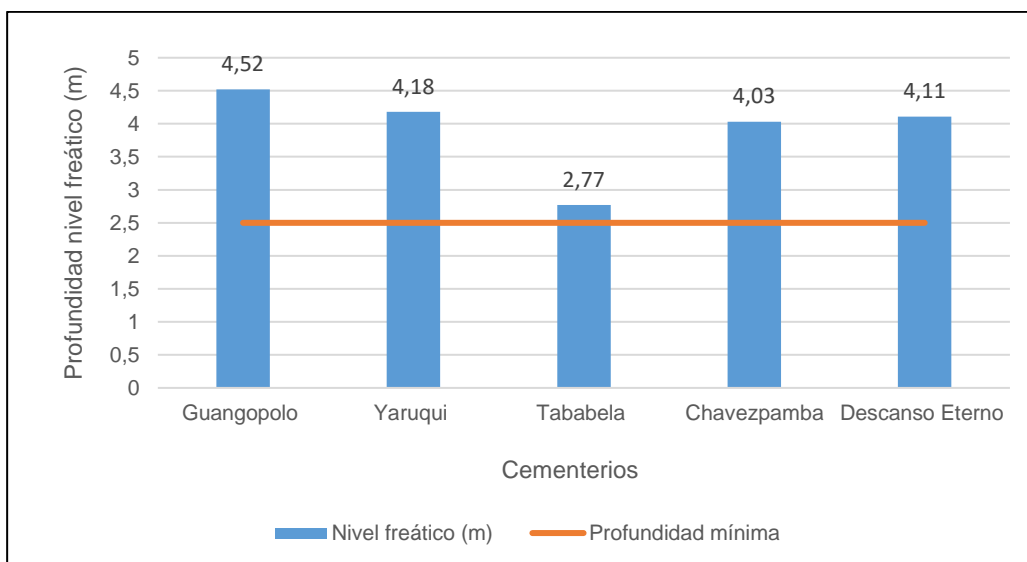
Fuente: Elaboración propia

### 3.2 Discusión de resultados

Una vez que se han presentado los resultados de cada variable ambiental y su categoría se procederá a realizar un análisis comparativo entre el resultado obtenido y lo establecido en normativas o reglamentos para la ubicación de cementerios. Cabe mencionar que no todas las variables se encuentran regularizadas por una normativa, solamente la profundidad hacia el nivel freático, la distancia de las sepulturas a cuerpos de agua y la topografía del terreno (pendiente) tienen valores mínimos establecidos en la normativa nacional e internacional. En el caso de las variables restante se tomará en cuenta si cumplen los criterios técnicos establecidos para la construcción de un relleno sanitario, esto se consideró debido a que algunos autores como Peluso et al. (2006) afirman que un cementerio puede ser considerado un tipo de relleno sanitario, y además se verificará si cumplen con los criterios de categorización de Guayasamín (2021) para zonas moderadamente adecuadas y muy adecuadas (ver Figura 20).

#### Análisis del nivel freático

En el Acuerdo Ministerial 3523 (2013) se emitió el Reglamento para el funcionamiento de cementerios, en este se contempla que los cementerios deben ubicarse en zonas donde la napa freática debe estar como mínimo a 2.5 metros de profundidad. Los resultados obtenidos de las mediciones y el valor mínimo establecido en la normativa se indica en la Figura 21.



**Figura 21.** Profundidad del nivel freático

El nivel freático en los cementerios de Guangopolo, Yaruquí, Chavezpamba y Descanso Eterno se encuentran a una profundidad mayor a 4 metros, es decir cumplen

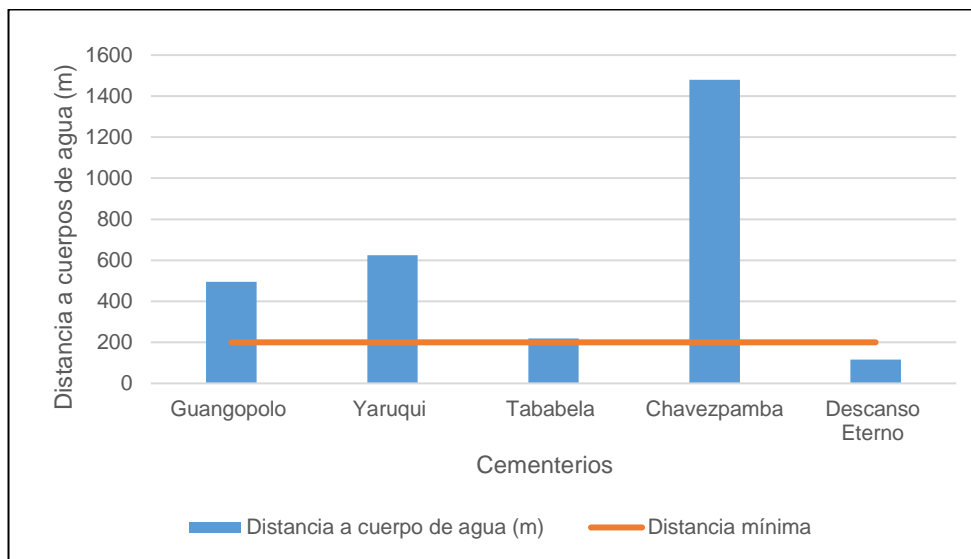
satisfactoriamente la normativa. Aunque el Cementerio de Tababela cumple con la normativa, la profundidad a la que se encuentra es de apenas 2,77 m, como en el Acuerdo Ministerial 3463 (2012), se establece que la cota mínima de enterramiento de cadáveres es de 2 m, un ascenso en el nivel freático en este cementerio podría llegar a afectar las tumbas y la probabilidad de contaminación al suelo y el agua subterránea aumentarían en este cementerio. En un estudio sobre la contaminación de aguas subterráneas por lixiviados provenientes de sepulturas en un cementerio de Lima se determinó que el nivel freático varía entre los 6,0 a 16,0 m en todo el espacio ocupado por el cementerio y del análisis de la calidad de las aguas subterráneas determinaron que no hay presencia de contaminación bacteriológica, pero sí físico-química, el contenido de nitratos excede los 10mg/L que establece la normativa (Espinoza, 2007). En otro estudio realizado en Alemania se encontró bacterias, amoníaco, nitratos y DBO alta en aguas subterráneas que se encontraban por debajo de la hilera de tumbas (Miller & Wiens, 2017), en base a esto se podría presumir la existencia de este tipo de contaminación en el cementerio de Tababela, debido principalmente a la poca profundidad a la que se encuentra el nivel freático en este sitio.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que esta variable está condicionada a fluctuaciones debido a la variación en las variables climáticas como precipitación y temperatura ambiental, la profundidad del nivel freático medida desde la superficie del suelo va a ser diferente en la época seca y lluviosa, en la época lluviosa el nivel freático ascenderá debido a la acumulación de la precipitación sobre la capa superficial del agua subterránea, lo contrario ocurrirá en la estación seca, donde el descenso en el nivel freático estará relacionado al bajo nivel de precipitación propio de la época seca (Saldarriega et al., 2020). Esto tiene concordancia con el resultado de las mediciones, como la profundidad a la que se encuentra el nivel freático en los cementerios se midió en la época seca (mes de agosto), se encontró que es superior a 4 metros, es decir se encuentra muy por debajo de la superficie del suelo del cementerio lo que se relaciona directamente con la cantidad de precipitación.

### **Análisis distancia a cuerpo de agua**

En el Acuerdo Ministerial 3523 (2013), se establece que el área de las sepulturas debe estar a una distancia mínima de doscientos metros de aguas de consumo, ríos, manantiales o canales de riego.

En la Figura 22 se presenta los resultados de las mediciones realizadas y la distancia mínima que establece la normativa.



**Figura 22.** Distancia a cuerpos de agua

En el caso de Tabela, Guangopolo y Chavezpamba el cuerpo de agua más cercano es un río, el primero está asentado en la cuenca de río Guambi, en el caso de Guangopolo el río más cercano es el San Pedro y en el caso de Chavezpamba el río Cubi. En el caso de Yaruqui el punto más cercano es una acequia y de la visita en campo se ha podido constatar que el cuerpo de agua más cercano en Descanso Eterno ha perdido su caudal, es decir su cauce se encuentra totalmente desabastecido.

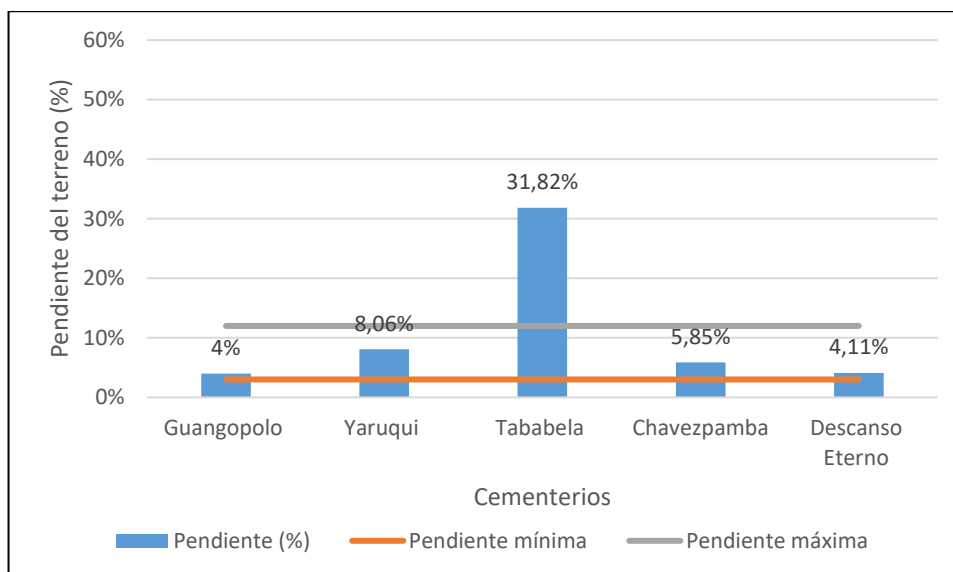
Con respecto al cumplimiento de la normativa se puede evidenciar en la Figura 22 que los cementerios de Guangopolo, Yaruquí y Chavezpamba se encuentran alejados de cuerpos de agua, a distancias que van desde los 400 m hasta 1400 m. Debido a esto se reduciría el riesgo de contaminación a cuerpos de agua por lixiviados generados de la sepultura de cadáveres (Velasco & Minota, 2012).

En el caso del cementerio de Tababela las sepulturas se encuentran sobre el límite mínimo a una distancia de 218 m y en el caso del Cementerio Descanso Eterno se encuentra a una distancia inferior a la mínima. En el caso de Tababela al estar asentado sobre el límite de la cuenca es más posible una afectación al agua superficial, sin embargo, esto no se ha llegado a establecer debido a que no se encuentra en los alcances del presente TIC.

### **Análisis de la pendiente del terreno**

En el Reglamento General de Cementerios (2005) emitido por el Ministerio de Salud de Costa Rica se establece que la topografía del terreno de los cementerios debe tener una pendiente menor al 10%. Según Cubillo (2005) un relleno debe asentarse en terrenos con

pendientes que oscilen entre 3 y 12 %. A continuación, se indica la Figura 23 con la topografía recomendada y los resultados obtenidos para esta variable.



**Figura 23.** Topografía del terreno

Como se puede evidenciar, los cementerios de Guangopolo, Yaruquí, Chavezpamba y Descanso Eterno se ubican en terrenos con pendientes poco pronunciadas, con porcentajes de inclinación que van desde el 4% hasta 8,06%, pero este no es el caso de lo que ocurre en el cementerio de Tababela el terreno tiene una pendiente con una inclinación del 31,82%.

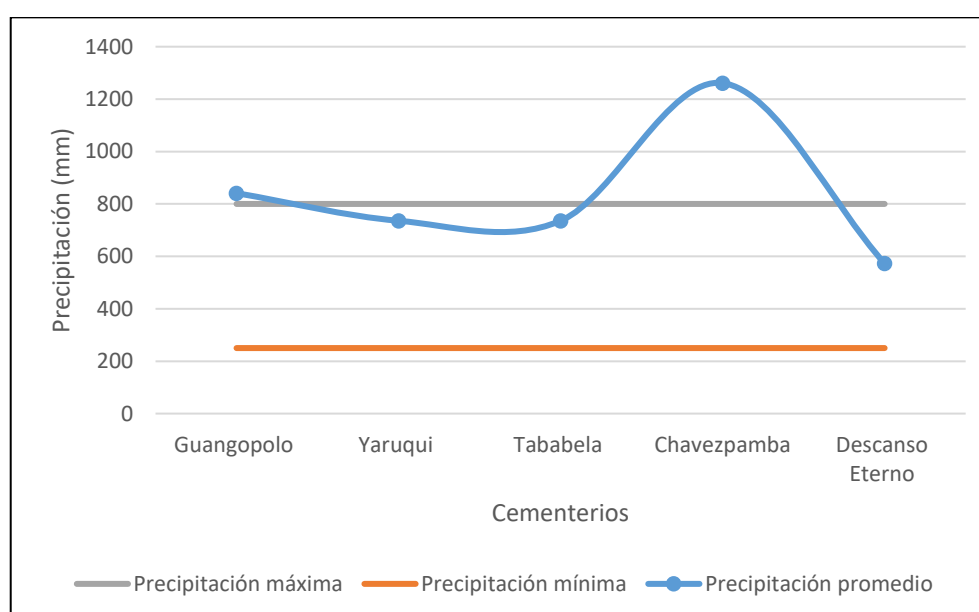
La pendiente es considerada un factor importante debido a que interviene en la movilidad de contaminantes en el suelo, los cuales pueden migrar ladera abajo hacia cuerpos de agua ya que siguen la naturaleza inclinada del terreno (Saba et al., 2023). Además, podría arriesgar la seguridad de las sepulturas por eventos como deslizamientos (Cubillo, 2005).

En un estudio realizado por Saba et al. (2023), los límites de la cuenca donde se ubica el cementerio tiene una pendiente que varía entre 20 y 40% y en el tramo aguas arriba 0-3%, en base a la características del terreno se determinó la zona más óptima para el seguimiento de los flujos de agua superficial y subterráneas, de aquí se deriva la importancia de la pendiente en el análisis de contaminantes, en el caso del presente estudio no se requirió medir la pendiente en el tramo aguas arriba, con el valor de la pendiente al límite de la cuenca se realizó la validación de índices. Tababela se asienta sobre la cuenca del río Guambi y la pendiente al límite de la cuenca es de 31,82%.

De acuerdo con los criterios de categorización de Guayasamín (2021), las zonas con pendientes comprendidas entre 25-40% son poco adecuadas para la construcción de cementerios, por lo que la ubicación del cementerio de Tababela no es adecuada al considerarse a la topografía de lugar como una variable determinante.

### Análisis de la precipitación

Siguiendo las consideraciones técnicas para la construcción de un relleno que establece Cubillo (2005), los lugares más apropiados son zonas con precipitaciones medias anuales entre 250 y 800 mm. En la figura 24 se presenta los resultados de las precipitaciones medias anuales de las zonas donde se asientan los cementerios y los valores óptimos de precipitación que recomienda Cubillo (2005).



**Figura 24.** Precipitación media anual

A partir del gráfico se evidencia que los cementerios de Yaruquí, Tababela y Descanso Eterno están asentados en zonas donde la precipitación media anual es inferior a 800 mm. Por el contrario, los cementerios de Guangopolo y Chavezpamba están ubicados en zonas con precipitaciones superiores a 800mm y en el caso de Chavezpamba el valor es superior a 1200 mm. En los criterios de categorización de Guayasamín (2021), las zonas con precipitaciones entre 0-1000 mm son sitios muy adecuados para la ubicación de cementerios. Como se puede evidenciar ambos autores establecen que los sitios más adecuados son aquellos con un nivel de pluviosidad inferiores a 1000 mm.

Según Franco et al. (2022), en los sitios con altos niveles de precipitación aumentan el riesgo del transporte de necrolixiviado, en un estudio realizado en Lages- Brasil, la



precipitación registrada fue de 1158 mm, se determinó que la lluvia tuvo un efecto directo en la altura del nivel de agua en el acuífero y aumento los niveles de contaminantes como nitratos, fenoles, metales como cadmio, níquel y cromo (Baum et al., 2022). Debido a esto se considera primordial determinar las características hidrológicas de una zona en la construcción de un cementerio, como se indicó niveles de precipitación superiores a 1000 mm puede influir directamente en el aumento del nivel de la contaminación, dentro del estudio que se está realizando el cementerio de Chavezpamba tiene un promedio de precipitación superior a 1200 mm.

### **Análisis de la textura del suelo**

En la Tabla 14 se indica la clase textural de los suelos de los cementerios, esta variable se analiza a fin de determinar la incidencia de la permeabilidad en el transporte de contaminantes a través del suelo.

**Tabla 14.** Textura del suelo

| <b>Nombre del cementerio</b> | <b>Tipo de suelo</b>   |
|------------------------------|------------------------|
| Guangopolo                   | Franco arcillo arenoso |
| Yaruquí                      | Franco arcillo arenoso |
| Tababela                     | Franco arcillo arenoso |
| Chavezpamba                  | Franco arcillo arenoso |
| Descanso eterno              | Franco arcillo arenoso |

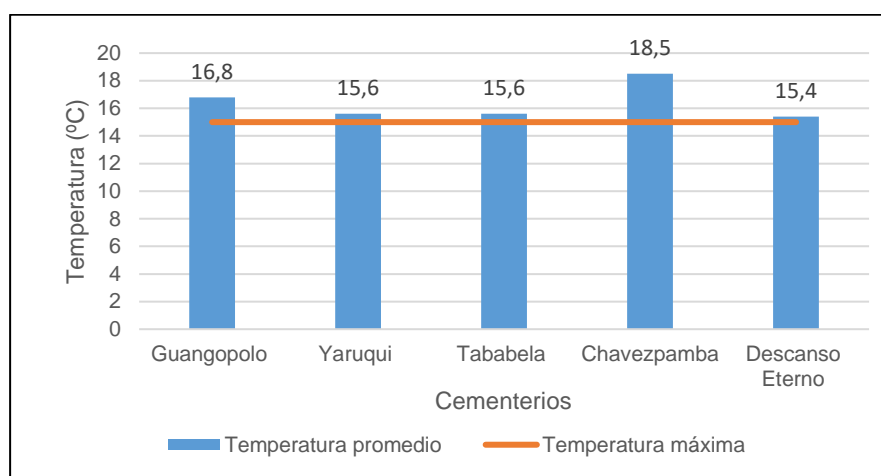
**Fuente:** Elaboración propia

En la Figura 20, Guayasamín (2021), establece que los sitios con suelos franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franco arcilloso, limoso, arcillo arenoso, arcillo limoso y arcillosos son aptos para la ubicación de un cementerio. En la Tabla 14 se presenta los resultados del tipo de suelo mediante la clase textural determinada en el laboratorio y se puede evidenciar que el tipo de suelo en todos los cementerios es franco arcillo arenoso, por lo que cumplen los criterios técnicos. Los suelos que presentan estas características ayudan a restringir el movimiento del lixiviado hacia el agua del subsuelo o nivel freático (Cubillo, 2005). En cambio, suelos muy permeables no permiten una adecuada depuración de lixiviado debido al bajo tiempo de contacto entre el suelo y el lixiviado (Miller & Wiens, 2017). En un estudio realizado en el cementerio del noroeste de Ohio se encontró que existe contaminación por arsénico, la concentración encontrada fue

de 7,7 mg/kg y el suelo presentaba una característica seca, además como la profundidad a las que fueron tomadas las muestras en este estudio se encontraba entre 2 a 5 m se puede deducir, que el suelo seco permite la filtración de contaminantes como metales pesados (arsénico) proveniente de líquidos de embalsamiento que se usaban anteriormente. (Miller & Wiens, 2017).

### **Análisis temperatura ambiental**

En la Figura 25 se indican los resultados obtenidos de la temperatura media anual en las zonas donde se ubican los cementerios y el valor máximo que establece Guayasamín (2021) para sitios moderadamente adecuado y muy adecuados.



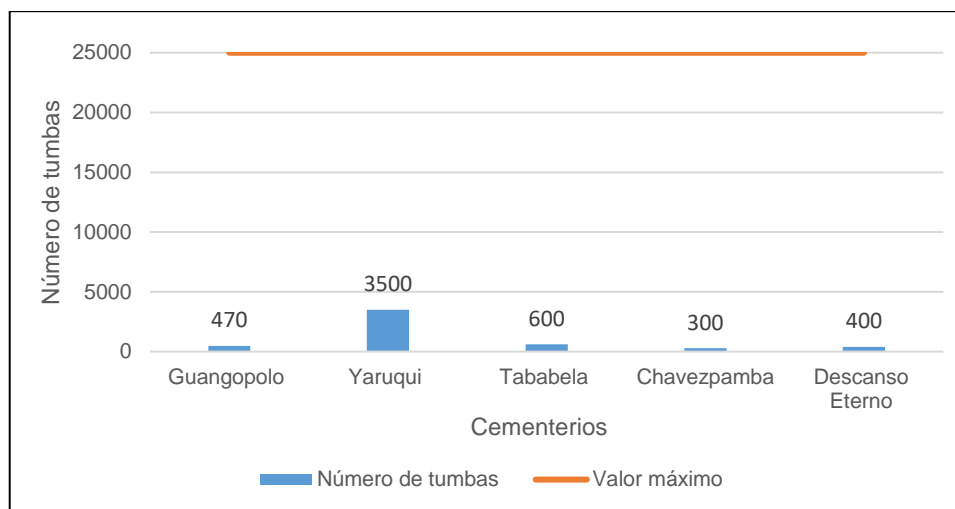
**Figura 25.** Temperatura media anual

Se puede observar que las temperaturas en estas zonas varían desde 15,6°C hasta 18,5°C, siendo Chavezpamba la zona que tiene la mayor temperatura.

Con respecto a esta variable, ningún cementerio cumple con los criterios técnicos y se encuentran en zonas que sobrepasan la temperatura máxima recomendada. Sin embargo, son temperaturas aceptables que no causarían ningún tipo de riesgo, ya que para que se acelere el proceso de descomposición que generaría malos olores, las temperaturas deben ser más altas y estar comprendidas entre un rango de 25 a 38°C (Miller & Wiens, 2017).

### **Análisis del número de tumbas**

En la Figura 26 se presenta los resultados referentes a la cantidad de tumbas que hay en cada cementerio y el número máximo de tumbas que establece Guayasamín (2021) debe existir en los cementerios para considerarse moderadamente adecuados y muy adecuados.

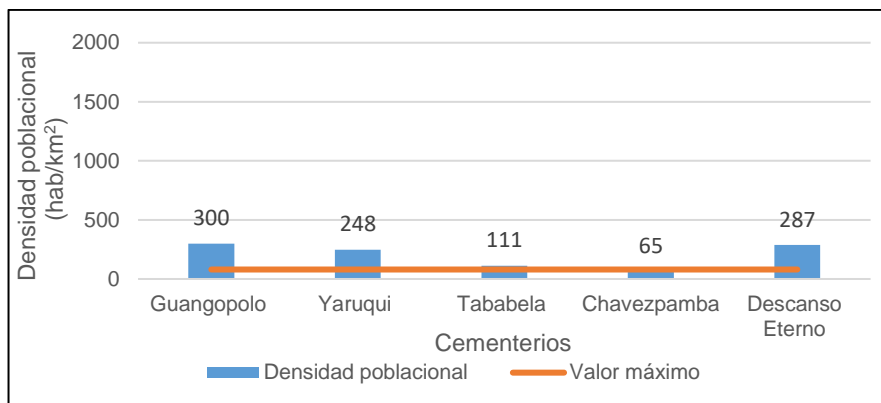


**Figura 26.** Número de tumbas

Como se puede evidenciar, la cantidad de tumbas que hay en estos cementerios es menor a 25000 y cumplen los criterios técnicos. La poca cantidad de tumbas que hay en estos sitios puede estar relacionada directamente con la densidad poblacional del lugar, como es el caso del cementerio de Chavezpamba, donde el número de tumbas es igual a 300 y la densidad poblacional 65 hab/km<sup>2</sup>, esta parroquia cuenta con apenas 1500 habitantes debido a esto la necesidad de contar con un espacio para el enterramiento de sus muertos se reduce. Según la Ordenanza 3457 (2003) en base a la población se determina el área mínima que requeriría el cementerio, como la población es de 1500 habitante, el lote mínimo sería de 1500 m<sup>2</sup> como el tamaño del cementerio y número de tumbas va a influir directamente en la cantidad de lixiviados (Miller & Wiens, 2017), en Chavezpamba la contaminación se reduciría en comparación con otros cementerios que ocupan un mayor espacio.

### **Análisis de la densidad poblacional**

En el acuerdo ministerial 3523 (2013), se establece que los cementerios deben ubicarse en sitios con bajo nivel antrópico. En la Figura 27 se indica los resultados de la densidad poblacional de las parroquias y comunas donde se ubican los cementerios y el valor máximo que establece Guayasamín (2021).



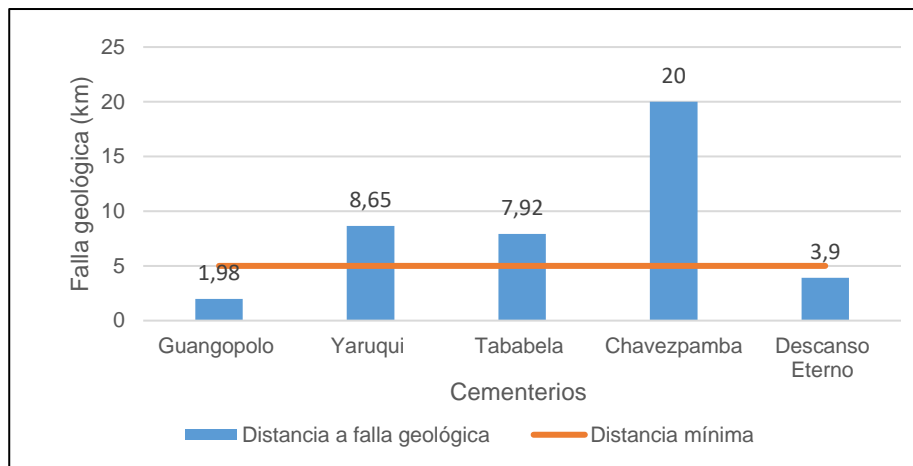
**Figura 27.** Densidad poblacional

Como se puede evidenciar, solamente el cementerio de Chavezpamba se encuentra en una zona con una muy baja densidad poblacional de apenas 65 hab/km<sup>2</sup> que cumpliría con los criterios del autor. Las parroquias de Guangopolo, Yaruqui, Tababela, Chavezpamba y la comuna de San Miguel del Común donde se ubica el cementerio “Descanso Eterno”, son parroquias rurales del DMQ con baja densidad poblacional, en el caso de Chavezpamba, para el año 2022 contó con una población de apenas 1500 habitantes (Gobierno Parroquial de Chavezpamba, 2015), lo mismo ocurre con la parroquia de Tababela, para el año 2023 se estimó que la población era de apenas 3180 habitantes (Cárdenas, 2023), la cantidad de habitantes va a estar relacionado directamente con la necesidad de superficie para cementerios y el número de tumbas, lo cual se analizó anteriormente. En el caso de Chavezpamba y Tababela se estaría cumpliendo con el Acuerdo Ministerial 3523 (2013), que establece que los cementerios deben ubicarse en zonas con bajo nivel antrópico para evitar afectaciones derivadas de la actividad del cementerio, con esto se estaría evitando ocasionar algún tipo de riesgo sanitario como la transmisión de enfermedades o filtraciones a las fuentes o acueductos de agua destinados para el consumo humano (Valle Barbosa et al., 2020).

En cementerios ubicados dentro de áreas urbanas o metropolitanas se ha encontrado que pueden contaminar los alrededores, en un estudio realizado en Brasil se encontró concentraciones de plomo hasta una distancia de 400 m de las paredes de los cementerios (Neckel et al., 2021), debido a esto es que es importante que los cementerios no se ubiquen dentro de zonas urbanas o que colinden con áreas de vivienda.

### **Análisis de fallas geológicas**

En la Figura 28 se presenta la distancia del cementerio a una falla geológica y la distancia mínima que debe cumplir un cementerio para estar ubicado en una zona adecuada.



**Figura 28.** Distancia a fallas geológicas

Como se observa en la gráfica, los cementerios de Guangopolo, Yaruquí y Chavezpamba se encuentra alejados del sistema de fallas de Quito, pero no es el caso de Guangopolo y Descanso los cuales se encuentran a una distancia crítica (menor a 5 km). El sistema de fallas de Quito esta comprendido de 3 grandes segmentos tectónicos que alcanzan una extensión de 60 km, como se observa los sitios más vulnerables serian Guangopolo debido a su ubicación con respecto a la falla de Lumbisí y Descanso Eterno por la falla de Calderón, el sistema de fallas en la capital genera sismos frecuentes con una magnitud promedio de 4 grados (El Telégrafo, 2014). Los sismos pueden ocasionar daños leves o graves a la estructura de los cementerios, así como alterar las unidades de entierro (Regan Agency, 2020).

### 3.3 Validación de los índices empíricos ambientales en cementerios moderadamente adecuados.

En base a los criterios de categorización y el índice de priorización se realizó el primer análisis donde se utilizó la ecuación lineal de 10 variables, el valor de la ecuación lineal empírica se determinó al sumar el producto entre el índice o coeficiente de priorización por la categoría de cada variable como se muestra en la Tabla 15 para los 3 cementerios.

**Tabla 15.** Validación de índices en tres cementerios con 10 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo |        | Yaruquí   |        | Tababela  |        |
|---------------------|-------------|---------|------------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
|                     |             |         | Categoría  | Valor  | Categoría | Valor  | Categoría | Valor  |
| 1                   | A           | 0,2951  | 1          | 0,2951 | 2         | 0,5902 | 3         | 0,8853 |
| 2                   | B           | 0,2126  | 4          | 0,8504 | 3         | 0,6378 | 4         | 0,8504 |
| 3                   | C           | 0,1498  | 2          | 0,2996 | 2         | 0,2996 | 2         | 0,2996 |
| 4                   | D           | 0,1036  | 3          | 0,3108 | 3         | 0,3108 | 4         | 0,4144 |

|              |   |        |   |            |              |        |            |              |  |            |
|--------------|---|--------|---|------------|--------------|--------|------------|--------------|--|------------|
| 5            | E | 0,0698 | 3 | 0,2094     | 3            | 0,2094 | 3          | 0,2094       |  |            |
| 6            | F | 0,0452 | 3 | 0,1356     | 2            | 0,0904 | 3          | 0,1356       |  |            |
| 7            | G | 0,0452 | 4 | 0,1808     | 3            | 0,1356 | 3          | 0,1356       |  |            |
| 8            | H | 0,0292 | 1 | 0,0292     | 2            | 0,0584 | 1          | 0,0292       |  |            |
| 9            | I | 0,0292 | 5 | 0,146      | 5            | 0,146  | 5          | 0,146        |  |            |
| 10           | J | 0,0203 | 5 | 0,1015     | 5            | 0,1015 | 4          | 0,0812       |  |            |
| <b>Total</b> |   |        |   | <b>2,6</b> | <b>Total</b> |        | <b>2,6</b> | <b>Total</b> |  | <b>3,2</b> |

Luego del análisis realizado se obtiene un valor de 2,6 para el cementerio de Guangopolo y Yaruquí, este valor dentro de la escala de categorización asignada por Guayasamín (2021), corresponde a una zona “Moderadamente Adecuada”, es decir luego de validar con información medida en campo y bibliográfica se puede corroborar que cumple la zonificación propuesta en trabajos preliminares. En el caso del cementerio de Tababela el resultado obtenido de la validación no se encuentra acorde a la zonificación propuesta por el autor, como se analizó en la sección 2.4, 4 variables ambientales son determinantes (nivel freático, distancia a cuerpos de agua, precipitación y pendiente) debido a que constituyen el 76,11% del peso del índice, es decir las 4 variables influyen altamente en determinar si un sitio es apto o no, como se evidenció en la sección 3.2, el cementerio de Tababela se encuentra a una distancia de cuerpos de agua poco adecuada, de igual manera la pendiente es muy inclinada (31,82%), como estas variables influyen en más del 75% el peso del índice, este cementerio no cumple los criterios para ubicarse dentro de la categoría “Moderadamente Adecuada”.

Para validar la consistencia de los índices con un menor número de variable se realizó 3 corridas adicionales con 8, 5 y 2 variables, los resultados se indican en las siguientes tablas (ver Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18).

**Tabla 16.** Validación de índices en 3 cementerios con 8 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo |              | Yaruquí   |            | Tababela     |        |            |
|---------------------|-------------|---------|------------|--------------|-----------|------------|--------------|--------|------------|
|                     |             |         | Categoría  | Valor        | Categoría | Valor      | Categoría    | Valor  |            |
| 1                   | A           | 0,3311  | 1          | 0,3311       | 2         | 0,6622     | 3            | 0,9933 |            |
| 2                   | B           | 0,2394  | 4          | 0,9576       | 3         | 0,7182     | 4            | 0,9576 |            |
| 3                   | C           | 0,1551  | 2          | 0,3102       | 2         | 0,3102     | 2            | 0,3102 |            |
| 4                   | D           | 0,103   | 3          | 0,309        | 3         | 0,309      | 4            | 0,412  |            |
| 5                   | E           | 0,0672  | 3          | 0,2016       | 3         | 0,2016     | 3            | 0,2016 |            |
| 6                   | F           | 0,0427  | 3          | 0,1281       | 2         | 0,0854     | 3            | 0,1281 |            |
| 7                   | G           | 0,0427  | 4          | 0,1708       | 3         | 0,1281     | 3            | 0,1281 |            |
| 8                   | H           | 0,0288  | 1          | 0,0288       | 2         | 0,0576     | 1            | 0,0288 |            |
| <b>Total</b>        |             |         | <b>2,4</b> | <b>Total</b> |           | <b>2,5</b> | <b>Total</b> |        | <b>3,2</b> |

**Tabla 17.** Validación de índices en 3 cementerios con 5 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yuruquí      |            | Tababela     |            |
|---------------------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                     |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      |
| 1                   | A           | 0,4185  | 1            | 0,4185     | 2            | 0,837      | 3            | 1,2555     |
| 2                   | B           | 0,2625  | 4            | 1,05       | 3            | 0,7875     | 4            | 1,05       |
| 3                   | C           | 0,1599  | 2            | 0,3198     | 2            | 0,3198     | 2            | 0,3198     |
| 4                   | D           | 0,0973  | 3            | 0,2919     | 3            | 0,2919     | 4            | 0,3892     |
| 5                   | E           | 0,0618  | 3            | 0,1854     | 3            | 0,1854     | 3            | 0,1854     |
|                     |             |         | <b>Total</b> | <b>2,3</b> | <b>Total</b> | <b>2,4</b> | <b>Total</b> | <b>3,2</b> |

**Tabla 18.** Validación de índices en 3 cementerios con 2 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yuruquí      |            | Tababela     |            |
|---------------------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|
|                     |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      |
| 1                   | A           | 0,6667  |              | 0,6667     | 2            | 1,3334     | 3            | 2,0001     |
| 2                   | B           | 0,3333  | 4            | 1,3332     | 3            | 0,9999     | 4            | 1,3332     |
|                     |             |         | <b>Total</b> | <b>2,0</b> | <b>Total</b> | <b>2,3</b> | <b>Total</b> | <b>3,3</b> |

En el caso del cementerio de Tababela, el resultado luego de validar la ecuación con 10, 8 y 5 variables está comprendido entre 3,2 y 3,3 estos valores comprenden la categoría definida como “Ligeramente Adecuada”. Como se explicó anteriormente esto se debe a que tanto la distancia a cuerpos de agua como pendiente del terreno tienen valores críticos. En la Tabla 19, se presenta de forma resumida los resultados obtenidos luego de validar las 9 ecuaciones con distintos números de variables.

**Tabla 19.** Media y desviación estándar (cementerios moderadamente adecuados)

| Número de Variables        |    | Cementerio de Guangopolo | Cementerio de Yuruquí | Cementerio de Tababela |
|----------------------------|----|--------------------------|-----------------------|------------------------|
| Ec 1                       | 10 | 2,56                     | 2,58                  | 3,19                   |
| Ec 2                       | 9  | 2,49                     | 2,52                  | 3,17                   |
| Ec 3                       | 8  | 2,44                     | 2,47                  | 3,16                   |
| Ec 4                       | 7  | 2,41                     | 2,45                  | 3,18                   |
| Ec 5                       | 6  | 2,33                     | 2,42                  | 3,19                   |
| Ec 6                       | 5  | 2,27                     | 2,42                  | 3,2                    |
| Ec 7                       | 4  | 2,18                     | 2,37                  | 3,21                   |
| Ec 8                       | 3  | 2,05                     | 2,3                   | 3,21                   |
| Ec 9                       | 2  | 2                        | 2,33                  | 3,21                   |
| <b>Media</b>               |    | <b>2,30</b>              | <b>2,43</b>           | <b>3,19</b>            |
| <b>Desviación estándar</b> |    | <b>0,19</b>              | <b>0,09</b>           | <b>0,02</b>            |

Del cálculo de la desviación estándar se puede decir que existe poco o casi nula variabilidad entre los datos. Tababela es el cementerio que menor variabilidad presentó dado que la desviación estándar es de apenas 0,02%, también en Guangopolo y Yuruquí

la variabilidad es bastante baja, esto significa que las ecuaciones lineales empíricas funcionan adecuadamente pese a trabajar con un menor número de variables, los resultados son casi similares al trabajar con un mayor o menor número de variables, debido a esto se podría comprobar que no se requiere contar con todas las variables ambientales para estimar la aptitud de un sitio.

### 3.4 Validación de índices empíricos ambientales en Cementerios Muy adecuados

Para realizar la validación de los cementerios categorizados como muy adecuados se realizó el mismo análisis anterior, es decir comprobar la validez de las ecuaciones lineales empíricas (índices) con 10, 8, 5 y 2 variables (ver Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22 y Tabla 23).

**Tabla 20.** Validación de índices en 2 cementerios con 10 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |             |
|---------------------|-------------|---------|--------------|------------|-----------------|-------------|
|                     |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor       |
| 1                   | A           | 0,2951  | 2            | 0,5902     | 2               | 0,5902      |
| 2                   | B           | 0,2126  | 3            | 0,6378     | 5               | 1,063       |
| 3                   | C           | 0,1498  | 3            | 0,4494     | 2               | 0,2996      |
| 4                   | D           | 0,1036  | 3            | 0,3108     | 3               | 0,3108      |
| 5                   | E           | 0,0698  | 3            | 0,2094     | 3               | 0,2094      |
| 6                   | F           | 0,0452  | 4            | 0,1808     | 3               | 0,1356      |
| 7                   | G           | 0,0452  | 4            | 0,1808     | 3               | 0,1356      |
| 8                   | H           | 0,0292  | 1            | 0,0292     | 1               | 0,0292      |
| 9                   | I           | 0,0292  | 5            | 0,146      | 5               | 0,146       |
| 10                  | J           | 0,0203  | 3            | 0,0609     | 5               | 0,1015      |
|                     |             |         | <b>Total</b> | <b>2,8</b> | <b>Total</b>    | <b>3,02</b> |

**Tabla 21.** Validación de índices en 2 cementerios con 8 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |            |
|---------------------|-------------|---------|--------------|------------|-----------------|------------|
|                     |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor      |
| 1                   | A           | 0,3311  | 2            | 0,6622     | 2               | 0,6622     |
| 2                   | B           | 0,2394  | 3            | 0,7182     | 5               | 1,197      |
| 3                   | C           | 0,1551  | 3            | 0,4653     | 2               | 0,3102     |
| 4                   | D           | 0,103   | 3            | 0,309      | 3               | 0,309      |
| 5                   | E           | 0,0672  | 3            | 0,2016     | 3               | 0,2016     |
| 6                   | F           | 0,0427  | 4            | 0,1708     | 3               | 0,1281     |
| 7                   | G           | 0,0427  | 4            | 0,1708     | 3               | 0,1281     |
| 8                   | H           | 0,0288  | 1            | 0,0288     | 1               | 0,0288     |
|                     |             |         | <b>Total</b> | <b>2,7</b> | <b>Total</b>    | <b>3,0</b> |



**Tabla 22.** Validación de índices en 2 cementerios con 5 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Chavezpamba |            | Descanso Eterno |            |
|---------------------|-------------|---------|-------------|------------|-----------------|------------|
|                     |             |         | Categoría   | Valor      | Categoría       | Valor      |
| 1                   | A           | 0,4185  | 2           | 0,837      | 2               | 0,837      |
| 2                   | B           | 0,2625  | 3           | 0,7875     | 5               | 1,3125     |
| 3                   | C           | 0,1599  | 3           | 0,4797     | 2               | 0,3198     |
| 4                   | D           | 0,0973  | 3           | 0,2919     | 3               | 0,2919     |
| 5                   | E           | 0,0618  | 3           | 0,1854     | 3               | 0,1854     |
| <b>Total</b>        |             |         |             | <b>2,6</b> | <b>Total</b>    | <b>2,9</b> |

**Tabla 23.** Validación de índices en 2 cementerios con 2 variables

| Número de variables | DESCRIPCIÓN | INDICES | Chavezpamba |            | Descanso Eterno |            |
|---------------------|-------------|---------|-------------|------------|-----------------|------------|
|                     |             |         | Categoría   | Valor      | Categoría       | Valor      |
| 1                   | A           | 0,6667  | 2           | 1,3334     | 2               | 1,3334     |
| 2                   | B           | 0,3333  | 3           | 0,9999     | 5               | 1,6665     |
| <b>Total</b>        |             |         |             | <b>2,3</b> | <b>Total</b>    | <b>3,0</b> |

En el caso del Cementerio de Chavezpamba de la validación se obtuvo que el cementerio se encuentra dentro de la categoría “Moderadamente adecuada”, sin embargo, de la categorización realizada por Guayasamin (2021), lo ubica como un cementerio “Muy adecuado”, en el caso del Campo Santo “El Descanso Eterno”, también ocurre lo mismo, como se analizó en la sección 3.2 este cementerio no cumple con la distancia mínima hacia un cuerpo de agua, como esta variable tiene un peso del 21,26% indudablemente va a influir en la categorización del cementerio.

De igual forma que en el caso anterior se analizó la desviación estándar para determinar si los resultados obtenidos de validar 9 ecuaciones con distinto número de variables presentan variabilidad (ver Tabla 24).

**Tabla 24.** Media y desviación estándar (cementeros muy adecuados)

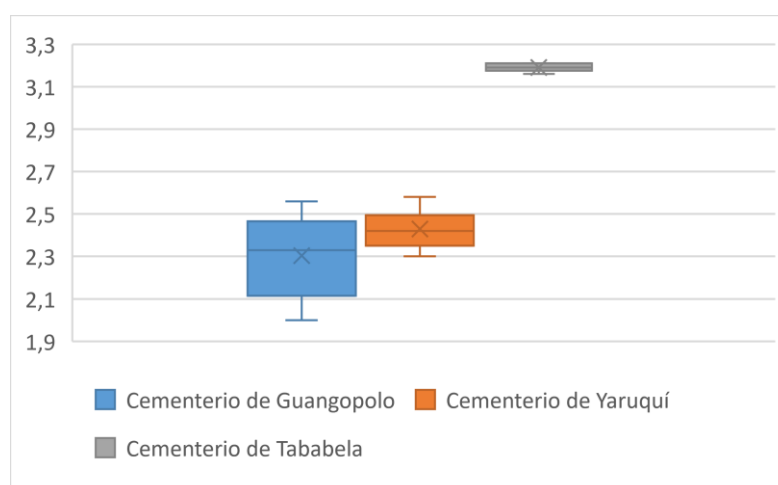
| Número de Variables        |    | Cementerio de Chavezpamba | Cementerio Descanso Eterno |
|----------------------------|----|---------------------------|----------------------------|
| Ec 1                       | 10 | 2,8                       | 3,02                       |
| Ec 2                       | 9  | 2,78                      | 2,98                       |
| Ec 3                       | 8  | 2,73                      | 2,97                       |
| Ec 4                       | 7  | 2,73                      | 2,97                       |
| Ec 5                       | 6  | 2,66                      | 2,96                       |
| Ec 6                       | 5  | 2,58                      | 2,95                       |
| Ec 7                       | 4  | 2,53                      | 2,93                       |
| Ec 8                       | 3  | 2,46                      | 2,89                       |
| Ec 9                       | 2  | 2,33                      | 3                          |
| <b>Promedio</b>            |    | 2,62                      | 2,96                       |
| <b>Desviación estándar</b> |    | 0,16                      | 0,04                       |

Como en el caso de la categoría anterior, luego de calcular la desviación estándar se puede afirmar que la variabilidad de datos es baja, en el caso de Descanso Eterno la desviación estándar es de apenas 0,04% con esto se ratifica que se puede confiar en los resultados obtenidos de las ecuaciones con menor número de variables, puesto que al trabajar con 2, 3 o 10 variables los resultados no van a diferir de la media.

### **Análisis de datos con diagrama de caja y bigotes**

#### **Cementerios moderadamente adecuados**

Se elaboró un diagrama de caja y bigotes (ver Figura 29), que reúne el resultado de todas las validaciones por categoría de cementerio con el fin de que aporte en la comparativa de datos.



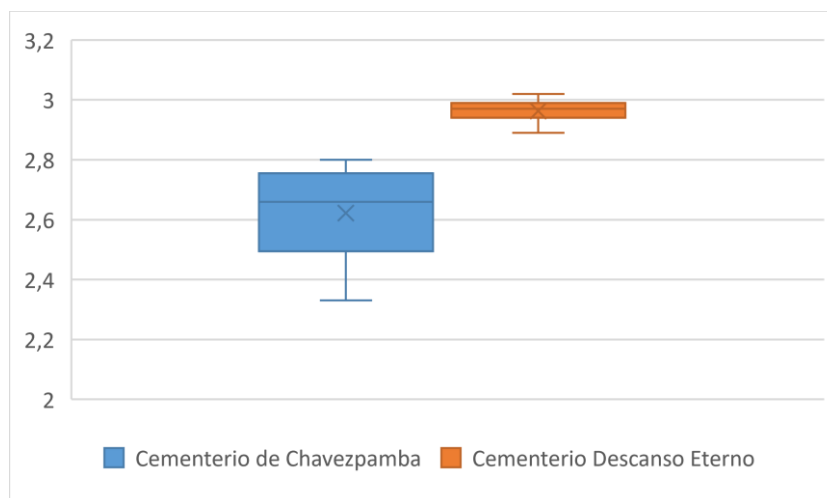
**Figura 29.** Diagrama caja de bigotes de 3 cementerios

En la Figura 29 se puede observar que la media de datos del cementerio de Yaruqui se encuentra incluida dentro del 50% del conjunto de datos del cementerio de Guangopolo, los resultados obtenidos son bastante similares, es decir ambos cementerios cumplen perfectamente los criterios para ubicarse como “Moderadamente adecuados”.

En el caso de los resultados obtenido para el cementerio de Tababela, el valor de la mediana se encuentra muy por encima de las medianas de los otros cementerios, es decir los datos son poco similares y como se explicó anteriormente las condiciones de 2 variables ambientales hacen que difiera totalmente de la categoría “Moderadamente adecuada”.

### **Cementerios muy adecuados**

Se elaboró un diagrama de caja y bigotes para analizar la variabilidad de datos obtenidos para los cementerios muy adecuados (ver Figura 30).



**Figura 30.** Diagrama de caja y bigotes de 2 cementerios

En la Figura 30, se puede observar que las medias no están contenidas en el mismo conjunto de datos, es decir los datos no son similares. En el caso del cementerio Descanso Eterno los datos tienden a aproximarse a 3,0 que es la categoría “Moderadamente adecuada”, mientras los datos de Chavezpamba tienden a aproximarse a 2,0 que es la categoría muy adecuada. Por esto se podría afirmar que entre ambos cementerios el que está asentado en una zona más adecuada para la construcción de un cementerio es Chavezpamba.

Como se ha presentado en la discusión de este trabajo, no existe una diferencia significativa entre las categorías de los cementerios obtenidas por las ecuaciones lineales empíricas y las establecidas en trabajos preliminares, debido a esto se puede ratificar que las ecuaciones lineales empíricas propuestas por Guayasamín (2021) son confiables para establecer si un sitio es adecuado o no para la implementación de cementerios.

### 3.5 Comparación de resultados obtenidos a partir de datos prácticos con índice teórico.

#### Cementerios moderadamente adecuados

Finalmente, se ha decidido comparar el valor del índice obtenido de la validación de las 9 ecuaciones (práctico), con el valor teórico máximo (2,01-3,0), para zonas moderadamente adecuadas que no cumplen con la categoría como es el caso del cementerio de Tababela (ver Tabla 25).

**Tabla 25.** Diferencia obtenida entre datos prácticos y teóricos (Tababela)

| Número de variables |           | Cementerio de Tababela  |                               |                |
|---------------------|-----------|-------------------------|-------------------------------|----------------|
|                     |           | Valor índice (práctico) | Valor índice teórico (máximo) | Diferencia (%) |
| <b>Ec 1</b>         | <b>10</b> | 3,19                    | 3                             | 5,96           |
| <b>Ec 2</b>         | <b>9</b>  | 3,17                    |                               | 5,36           |
| <b>Ec 3</b>         | <b>8</b>  | 3,16                    |                               | 5,06           |
| <b>Ec 4</b>         | <b>7</b>  | 3,18                    |                               | 5,66           |
| <b>Ec 5</b>         | <b>6</b>  | 3,19                    |                               | 5,96           |
| <b>Ec 6</b>         | <b>5</b>  | 3,2                     |                               | 6,25           |
| <b>Ec 7</b>         | <b>4</b>  | 3,21                    |                               | 6,54           |
| <b>Ec 8</b>         | <b>3</b>  | 3,21                    |                               | 6,54           |
| <b>Ec 9</b>         | <b>2</b>  | 3,21                    |                               | 6,54           |

Como se puede observar, los resultados de los índices obtenidos de manera práctica se acercaron bastante al valor teórico, con un porcentaje de error entre el 5,06% y 6,54%, el cual es bajo. El porcentaje de error, como se mencionó anteriormente se debe a que los datos determinados en campo como la pendiente y la distancia a cuerpos de agua no están dentro de los rangos para cementerios “Moderadamente Adecuados” sino se encuentra dentro de los criterios para cementerios “Ligeramente adecuados” y debido a que son variables que tienen mayor peso en la ecuación lineal, ocasionan que se ubique en otra categoría.

### Cementerios muy adecuados

En esta parte se ha decidido comparar el valor del índice obtenido de la validación de las 9 ecuaciones (práctico), con el valor teórico máximo (1,01-2), para los 2 cementerios que no cumplen con la categoría, en este caso el cementerio de Chavezpamba y Descanso Eterno (ver Tabla 26).

**Tabla 26.** Diferencia obtenida entre datos prácticos y teóricos para 2 cementerios

| Número de variables |           | Cementerio de Chavezpamba |                               |                | Cementerio "Descanso Eterno" |                               |                |
|---------------------|-----------|---------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
|                     |           | Valor índice practico     | Valor índice teórico (máximo) | Diferencia (%) | Valor índice practico        | Valor índice teórico (máximo) | Diferencia (%) |
| <b>Ec 1</b>         | <b>10</b> | 2,8                       | 2                             | 28,57          | 3,02                         | 2                             | 33,77          |
| <b>Ec 2</b>         | <b>9</b>  | 2,78                      |                               | 28,06          | 2,98                         |                               | 32,89          |
| <b>Ec 3</b>         | <b>8</b>  | 2,73                      |                               | 26,74          | 2,97                         |                               | 32,66          |
| <b>Ec 4</b>         | <b>7</b>  | 2,73                      |                               | 26,74          | 2,97                         |                               | 32,66          |
| <b>Ec 5</b>         | <b>6</b>  | 2,66                      |                               | 24,81          | 2,96                         |                               | 32,43          |
| <b>Ec 6</b>         | <b>5</b>  | 2,58                      |                               | 22,48          | 2,95                         |                               | 32,20          |
| <b>Ec 7</b>         | <b>4</b>  | 2,53                      |                               | 20,95          | 2,93                         |                               | 31,74          |
| <b>Ec 8</b>         | <b>3</b>  | 2,46                      |                               | 18,70          | 2,89                         |                               | 30,80          |
| <b>Ec 9</b>         | <b>2</b>  | 2,33                      |                               | 14,16          | 3                            |                               | 33,33          |

Aunque el valor estimado no cumple el criterio (1,01-2) se pudo observar en la Tabla 26 que en el cementerio de Chavezpamba a medida que se trabaja con un menor número de variables en los índices el porcentaje de error disminuye y el valor del índice se acerca a 2,0, que es el valor esperado. En cambio en el otro cementerio el porcentaje de error se mantiene constante entre 30% y 33% y en lugar de aproximarse a valores cercanos a 2,0 tiende a aproximarse a 3,0, es decir a una zona menos adecuada, como se mencionó anteriormente, esto sucede en el cementerio Descanso Eterno, por la ubicación del cementerio al cuerpo de agua, el cual es crítico, esta variable ocupa entre las demás, el segundo lugar de importancia o prioridad por lo que influye directamente en la categorización del cementerio.

Entre ambos cementerios el que mejor se aproxima a la categoría de Muy adecuado es Chavezpamba puesto que en la corrida con un menor número de variables se aproxima a 2 (valor esperado).

### **3.6 Conclusiones**

- Mediante la corrida de las ecuaciones empíricas lineales con diferente número de variables (entre 10 a 2), se pudo comprobar que predicen adecuadamente las características de un sitio para la ubicación de cementerios, lo cual se evidenció al validar información ambiental y geográfica del Cementerio de Guangopolo y Yaruquí, se obtuvo que la ubicación es moderadamente adecuada lo que concuerda con lo establecido en trabajo de investigación desarrollados previamente.
- Las ecuaciones empíricas lineales están relacionadas directamente con 4 variables ambientales prioritarias (nivel freático, distancia a cuerpos de agua, precipitación y pendiente), una alteración del valor de estas características influye altamente en predecir la aptitud de un sitio, como sucedió con la información de los cementerios de Tababela y Descanso Eterno, tanto la distancia a cuerpos de agua como pendiente son críticos en estos cementerios, lo que incidió en el resultado de categorización del cementerio.
- En el caso del cementerio de Chavezpamba aunque con la validación se comprobó que no cumple con la categoría establecida en trabajos preliminares, es el que se encuentra ubicado en las mejores condiciones para el establecimiento de un cementerio puesto que con la corrida de las ecuaciones es el que tiende a acercarse al valor de 2,00 (zonas muy adecuadas).
- Se comprobó que las ecuaciones empíricas lineales determinan adecuadamente la aptitud de un sitio pese a trabajar con un menor o mayor número de variables (desviación estándar menor al 1%), debido a la baja dispersión en los resultados se puede afirmar que los índices son adecuados para establecer la aptitud de un sitio.

### **3.7 Recomendaciones**

- Como el nivel freático es susceptible a las variaciones climáticas, se recomienda medir su profundidad en la época de invierno, con el fin de verificar en qué medida asciende de la época seca y de esta manera establecer si las ecuaciones requieren algún ajuste según la estacionalidad.
- Se debe verificar la confiabilidad de los datos que se van a ingresar en las ecuaciones y en lo posible contrastar la información medida en campo con

datos provistos por instituciones validadas con el fin de evitar alteraciones en la determinación de la aptitud de una zona geográfica.

- Se recomienda gestionar con anterioridad los permisos en los sitios donde se requiere realizar la toma de muestras, puesto que en algunos casos los sitios no son autorizados por los administradores y disminuiría la cantidad de datos necesarios para realizar las validaciones.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial 3523. (2013). *Reglamento para regular el funcionamiento de los establecimientos que prestan servicios funerarios y de manejo de cádaveres y restos humanos.*
- Agromática. (2023). *¿Cómo medir la textura del suelo?*  
<https://www.agromatica.es/textura-del-suelo/>
- Albán, S., & Peralta, M. (2017). *Propuesta de un índice de calidad ambiental para el área urbana de Cuenca.*
- Archer, M. S. (2004). Rainfall and temperature effects on the decomposition rate of exposed neonatal remains. *Science and 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.*
- Baron, A. (2017, October 17). *5 Smart Ways To Pay For Your Funeral That Won't Leave Your Family To Foot The Bill.* <https://www.baronfamilylaw.com/blog/5-smart-ways-to-pay-for-your-funeral-that-wont-leave-your-family-to-foot-the-bill>
- Baum, C. A., Becegato, V. A., Vilela, P. B., Lavnitcki, L., Becegato, V. R., & Paulino, A. T. (2022). Contamination of groundwater by necro-leachate and the influence of the intervening factors in cemeteries of the municipality of Lages – Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(4), 683–692.  
<https://doi.org/10.1590/S1413-415220210037>
- Buhas, C. L., Judea -Pusta, C., & Buhas, B. (2016). *THE INFLUENCE OF THE ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE HUMAN CADAVER.*  
<https://www.researchgate.net/publication/311788891>
- Cárdenas, A. (2023). *La parroquia de Tababela .*  
<https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/tababela-seguridad-parroquia-asaltos-robos-delincuencia-policia-aeropuerto-mariscal-sucre-nota/>
- Carter, D., & Tibbett, M. (2008). Cadaver Decomposition and Soil. In *Soil Analysis in Forensic Taphonomy* (pp. 29–51). CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/9781420069921.ch2>
- Crisanto-Perrazo, T., Guayasamín-Vergara, J., Mayorga-Llerena, E., Sinda-Gonzalez, I., Vizuete-Freire, D., Toulkeridis, T., Gomez, G. F., & Fierro-Naranjo, G. (2022). Determination of Empirical Environmental Indices for the Location of Cemeteries—An Innovative Proposal for Worldwide Use. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14106284>
- Cubillo, P. (2005). *DETERMINACIÓN DEL ALTERNATIVAS PARA EL NUEVO RELLENO SANITARIO.*
- Dent, B., & Knight, M. (1998). *Cemeteries: A Special Kind of Landfill. The context of their sustainable management.* 451–456.



- Dueñas, A. (2019). *Primera fase para elaborar una propuesta de cementerio sostenible-caso estudio Parque Cementerio Jardines del Recuerdo Bogotá.*
- El Telegrafo. (2014). *La falla geológica de Quito está formada por 3 segmentos.* <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/quito/1/la-falla-geologica-de-quito-esta-formada-por-3-segmentos>
- Engelbrecht, J. (2018). *Groundwater pollution from cemeteries.*
- Espinoza, J. (2007). *Contaminación de aguas subterráneas por lixiviados provenientes de sepulturas bajo suelo en el camposanto "Parque del Paraíso" Lurin-Lima.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos .
- Falconí, M. (2024). *Validation of empirical equations for determining the suitability of the territory for the setting of cemeteries "Manuscrito no publicado."*
- Franco, D., Georgin, J., Villarreal, L., Arango, M., Orozco, J., Moreno, C., Neckel, A., Leandro, M., & Gindri, C. (2022). The environmental pollution caused by cemeteries and cremations: A review. *Chemosphere*, 207. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522025188>
- Gisbert Blanquer, nombre, Manuel, J., & Ramón, M. (2010). *LA TEXTURA DE UN SUELO.*
- Gobierno Parroquial de Chavezpamba. (2015). *PDOT CHAVEZPAMBA 2015.*
- Guayasamín, J. (2021). *Establecimiento de índices empíricos ambientales para manejo de cadáveres humanos: entierro y cremación en Ecuador.*
- Janaway, R. C., Percival, S. L., & Wilson, A. S. (2009). Decomposition of human remains. In *Microbiology and Aging: Clinical Manifestations* (pp. 313–334). Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-59745-327-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-59745-327-1_14)
- Julca, G. (2016). Descomposición Cadavérica y Determinación del Intervalo Post Mortem. *Revista Skopein* , 6. <http://www.ite.educacion.es/>
- Ledea, M., Pérez, A., Sánchez, M., Sague, C., & Tamayo, E. (2021). Putrefacción cadavérica anómala: Saponificación. Presentación de un caso. *Medicina Legal.*
- Luege, J. (2020). *Los indicadores ambientales.* <https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/indicadores05/indicadores04/presentacion/indicadores.shtml>
- Miller, A., & Wiens, M. (2017). *Cemetery setback distances to prevent surface water contamination.*
- Neckel, A., Korcelski, C., Kujawa, H. A., Schaefer da Silva, I., Prezoto, F., Walker Amorin, A. L., Maculan, L. S., Gonçalves, A. C., Bodah, E. T., Bodah, B. W., Dotto, G. L., & Silva, L. F. O. (2021). Hazardous elements in the soil of urban cemeteries; constructive solutions aimed at sustainability. In *Chemosphere* (Vol. 262). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128248>
- Ojeda, A. (2020). *Geología de Quito: fallas y sismicidad.* [https://geotecniafacil.com/geologia-fallas-quito/#fallas\\_geologicas\\_de\\_quito](https://geotecniafacil.com/geologia-fallas-quito/#fallas_geologicas_de_quito)
- Ordenanza 3457. (2003). *Normas de arquitectura y urbanismo.*

- Pawlett, M., Girkin, N. T., Deeks, L., Evans, D. L., Sakrabani, R., Masters, P., Garnett, K., & Márquez-Grant, N. (2023). The contribution of natural burials to soil ecosystem services: Review and emergent research questions. In *Applied Soil Ecology* (Vol. 194). Elsevier B.V.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105200>
- Peluso, F., Vives, L., Varni, M., Cazenave, G., González Castelain, J., & Usunoff, Y. E. (2006). *EVALUACIÓN PREVENTIVA ESPACIAL DEL RIESGO SANITARIO POR LA INSTALACIÓN DE UN CEMENTERIO PARQUE*. [www.geo-focus.org](http://www.geo-focus.org)
- Quintanilla, S. (2020). *Dinámica del nivel freático de aguas subterráneas por explotación artesanal con fines de consumo – Comunidad de Azapampa distrito de Chilca 2019*.
- Rai, J. K., Pickles, B. J., & Perotti, M. A. (2022). The impact of the decomposition process of shallow graves on soil mite abundance. *Journal of Forensic Sciences*, 67(2), 605–618. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14906>
- Regan Agency. (2020). *Cemetery Disaster Management Advice*.  
<https://www.reganagency.com/cemetery-disaster-management-advice/>
- Reglamento General de Cementerios. (2005). *Ubicación y construcción de cementerios*.  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=56104&nValor3=83405&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=56104&nValor3=83405&strTipM=TC)
- Saba, E. D., Saba, J. M., Mendes, T. A., & de Oliveira, A. E. (2023). Evaluating the impact of a cemetery on groundwater by multivariate analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2). <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10895-y>
- Saldarriaga, V., Chavarría, J., Guzmán, Á., & Tarazona, N. (2020). EFECTO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS SOBRE LA FLUCTUACIÓN DEL NIVEL FREÁTICO EN SUELOS FLUVISOLES DEL VALLE DEL RÍO CARRIZAL. *Ciencia y Tecnología UTEQ*, 13(2), 55–62. <https://doi.org/10.18779/cyt.v13i2.393>
- Spongberg, A. L., & Becks, P. M. (2000). *INORGANIC SOIL CONTAMINATION FROM CEMETERY LEACHATE*.
- The University of Vermont. (n.d.). *Hillslope Hydrology and Infiltration Rates*. Retrieved February 10, 2024, from  
[https://www.google.com/search?q=uvm+edu&oq=UVM+edu&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUqBwgAEAAyGQyBwgAEAAyGQyBwgBEAAyGQyBwgCEAAyGQyBwgDEAAyGQyBwgEEAAyGQyBggFEEUYPDIGCAYQRRg8MgYIBxBFGDyoACwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=uvm+edu&oq=UVM+edu&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUqBwgAEAAyGQyBwgAEAAyGQyBwgBEAAyGQyBwgCEAAyGQyBwgDEAAyGQyBwgEEAAyGQyBggFEEUYPDIGCAYQRRg8MgYIBxBFGDyoACwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Torres, D. (2006). Los rituales funerarios como estrategias simbólicas que regulan las relaciones entre las personas y las culturas. *Sapiens*, 7.  
[https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1317-58152006000200008](https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1317-58152006000200008)
- Úbeda, J. S., & Delgado, Y. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la

agricultura. *Rev. Iberoam. Bioecon. Cambio Clim.*, 4(7), 889–896.  
<https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i7.6299>

Valle Barbosa, M. A., Robles Bañuelos, J. R., Vargas Valle, I. A., Muñoz de la Torre, A., & Carrillo Núñez, G. G. (2020). Cementerios y cadáveres durante las crisis epidémicas en Guadalajara, Jalisco. México. *Horizonte Sanitario*, 20(1).  
<https://doi.org/10.19136/hs.a20n1.3844>

Velasco, A., & Minota, Y. (2012). Evaluación por contaminación en suelos aledaños a los cementerios Jardines del Recuerdo e Inmaculada. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 22(1), 165–175.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91125275011>

Vodopivec, C. (s.f). *Análisis sobre como contaminan las napas freáticas los ataúdes de madera*. <https://www.restbox.com/Informe-Contaminacion-Ataudes-Madera.pdf>

Zychowski, J., & Bryndal, T. (2015). Impact of cemeteries on groundwater contamination by bacteria and viruses - A review. *Journal of Water and Health*, 13(2), 285–301. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.119>

## **5 ANEXOS**

**ANEXO I**  
**DATOS DE PRECIPITACIÓN**

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)**

NOMBRE ESTACIÓN: YARUQUI

CÓDIGO:M346

PERÍODO: 2003-2015

| Año  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT   | NOV   | DEC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 2003 | 24,2  | 77,7  | 110,2 | 122,8 | 53,3  | 28,8 | 11,5 | 0,8  | 38,2 | 55,5  | -     | -     |
| 2004 | 31,7  | 25,5  | 38,8  | 115,2 | 103,6 | 1,9  | 1,6  | 0    | 92,3 | 59,6  | 103,7 | 47,4  |
| 2005 | 70,6  | 107,9 | 83,7  | 66,8  | 16,4  | 50,9 | 18,9 | 39,1 | 43,1 | 86,1  | 67,4  | 88,6  |
| 2006 | 44,5  | 114,9 | 142,6 | 291,3 | 56    | 46,4 | 3,4  | 2,8  | 1,5  | 97,5  | 233,4 | 154,3 |
| 2007 | 44,7  | 42,6  | 108   | 193,3 | 80,2  | 19,5 | 11,6 | 11,8 | 6,8  | 106,5 | 89,3  | 28,9  |
| 2008 | 72,5  | 97,1  | 207,1 | 121,7 | 113,9 | 38,2 | 6,1  | 32,1 | 39,4 | 144,4 | 75,1  | 94    |
| 2009 | 141,2 | 115,2 | 111,4 | 68,3  | 132,4 | 21,9 | 1    | 0    | 3,3  | 87,8  | 8,7   | 54,4  |
| 2010 | 10,7  | 37,4  | 26,4  | 112,1 | 78,8  | 38,2 | 74,4 | 12,7 | 81,4 | 24,7  | 119,7 | 133,6 |
| 2011 | 66,1  | 78,2  | 108,5 | 225   | 43,1  | 24,8 | 61,9 | 34,7 | 31,5 | 73,9  | 47,5  | 73,4  |
| 2012 | 78,8  | 89,9  | 73,4  | 133,2 | 14    | 4,9  | 0,7  | 2    | 7,9  | 48,8  | 82,8  | 26,2  |
| 2013 | 31,7  | 130,1 | 44,7  | 100,2 | 88,9  | 0    | 2,9  | 5,5  | 29,9 | 78,7  | 29,4  | 58    |

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)**

NOMBRE ESTACIÓN: NONO

CÓDIGO:M361

PERÍODO: 2003-2015

| Año  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT   | NOV   | DEC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 2003 | 37,2  | 65,7  | 65,6  | 247,5 | 62,7  | 92,3 | 4,3  | 0    | 67,9 | 76,1  | 82,8  | 61    |
| 2004 | 55,2  | 19,2  | 85,9  | 144,6 | 125,7 | 4,3  | 15,4 | 0,4  | 45,4 | 111,3 | 119,2 | 65,1  |
| 2005 | 68    | 164,3 | 126,8 | 88,7  | 33    | 28,7 | 4,7  | 8,6  | 25   | 51,8  | 48,2  | 100,7 |
| 2006 | 49,2  | 228,4 | 186,2 | 214,8 | 100,4 | 53,8 | 6,9  | 10,5 | 0    | 94,6  | 176,3 | 137,9 |
| 2007 | 90,3  | 52,8  | 173,1 | 192,8 | 77,4  | 53,6 | 17,6 | 30,5 | 13,4 | 100,8 | 90,5  | 71,5  |
| 2008 | 217,9 | 113,7 | 212,5 | 198,1 | 212,8 | 47   | 17   | 17,2 | 60,7 | 126,9 | 42,2  | 93,7  |
| 2009 | 207,3 | 136,4 | 174   | 71    | 67,9  | 48,4 | 7,5  | 7    | 9    | 24,3  | 19,4  | 87,7  |
| 2010 | 11,2  | 63,5  | 58,5  | 217,7 | 105,8 | 56,3 | 103  | 42,5 | 94,4 | 28,4  | 148,2 | 192,9 |
| 2011 | 109,9 | 200,3 | 135,6 | 326   | 49,4  | 24,4 | 72,6 | 22   | 101  | 41,1  | 15,3  | 64,1  |
| 2012 | 231,1 | 77,4  | 160,4 | 246,2 | 45,7  | 0    | 0    | 0    | 19,9 | 111,2 | 126   | 15,7  |
| 2013 | 86,2  | 172,2 | 50,7  | 116,4 | 180,3 | 9,2  | 0    | 14,9 | 24,2 | 206,3 | 5,6   | 55,7  |

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)**

NOMBRE ESTACIÓN: LA TOLA

CÓDIGO:M002

PERÍODO: 2003-2015

| Año  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT   | NOV   | DEC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 2003 | 40,1  | 68,9  | 58,3  | 149,8 | 15    | 32   | 10,3 | 20,8 | 84,3 | 85,3  | 146,3 | 47,1  |
| 2004 | 82,3  | 27,3  | 86,2  | 79,7  | 47,4  | 3,4  | 4,4  | 0,7  | 53,8 | 105,4 | 177,9 | 131   |
| 2005 | 52,8  | 97,7  | 75,9  | 58,7  | 44    | 29,1 | 9,1  | 18,8 | 20,2 | 87    | 84    | 79    |
| 2006 | 42,4  | 74,8  | 211,8 | 168   | 30,9  | 45,6 | 4,6  | 3    | 11   | 101,3 | 153   | 166,4 |
| 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  |
| 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 |
| 2009 | 101,4 | 48,5  | 152,9 | 70,3  | 46,2  | 29,7 | 14,9 | 0,1  | 9,9  | 121,5 | 55    | 96,6  |
| 2010 | 15,9  | 83    | 12,1  | 163,4 | 100,4 | 40,7 | 69,6 | 29,5 | 79,1 | 66,4  | 170,4 | 107,6 |
| 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  |
| 2012 | 76,9  | 59,8  | 95,1  | 114,4 | 16,3  | 8,2  | 1,5  | 2    | 53,3 | 70,2  | 235,9 | 59,8  |
| 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  |

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)**

NOMBRE ESTACIÓN: SAN JOSÉ DE MINAS

CÓDIGO:M337

PERÍODO: 2003-2015

| Año  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  | OCT   | NOV   | DEC   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 2003 | 55,7  | 97,1  | 95,6  | 193,1 | 61,9  | 69,9 | 23,4 | 10,8 | 32,9 | 59,2  | 147   | 96,5  |
| 2004 | 98,9  | 45,8  | 47    | 103   | 133,7 | 12,7 | 7,4  | 1,3  | 79,7 | 136,1 | 128,5 | 122   |
| 2005 | 102,1 | 192,7 | 115,3 | 100,3 | 36,5  | 34,1 | 21,2 | 21,5 | 23   | 68,8  | 120,8 | 172,4 |
| 2006 | 105,1 | 182,8 | 229,2 | 272,9 | 98,5  | 87,6 | 2,7  | 4,8  | 11,5 | 65,7  | 233,5 | 249,4 |
| 2007 | 78,2  | 88,2  | 147,8 | 231   | 156,5 | 46,8 | 19,8 | 29,4 | 2,3  | 138,1 | 167   | 127,5 |
| 2008 | 234   | 169,3 | 229,1 | 261   | 209,2 | 120  | 25,3 | 71,6 | 85,1 | 205,3 | 110,1 | 180,3 |
| 2009 | 198,5 | 155,9 | 152,8 | 49,6  | 93,1  | 69,2 | 14,2 | 7,5  | 12,3 | 38,9  | 20,5  | 207,2 |
| 2010 | 28,1  | 72,3  | 15,2  | 244   | 99    | 66,1 | 140  | 22,1 | 81,3 | 45,6  | 165,5 | 291,6 |
| 2011 | 188,4 | 287,9 | 153,3 | 274   | 106,2 | 312  | 132  | 58   | 82,8 | 119,8 | 41,5  | 135,3 |
| 2012 | 261,2 | 175,9 | 131,9 | 174,4 | 47,8  | 20,2 | 13   | 5    | 15,2 | 103,9 | 156,3 | 64,7  |
| 2013 | 62,9  | 187,1 | 92,4  | 49,9  | 195,8 | 1    | 5,7  | 24,5 | 15   | 159,1 | 73,6  | 109,6 |

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)**

NOMBRE ESTACIÓN: CALDERON

CÓDIGO: M345

PERÍODO: 2003-2015

| <b>Año</b>  | <b>ENE</b> | <b>FEB</b> | <b>MAR</b> | <b>ABR</b> | <b>MAY</b> | <b>JUN</b> | <b>JUL</b> | <b>AGO</b> | <b>SEP</b> | <b>OCT</b> | <b>NOV</b> | <b>DEC</b> |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>2003</b> | 8,7        | 72,6       | 59,1       | 121,4      | 22,9       | 17,2       | 7,7        | 0          | 14,4       | 40,6       | 50,6       | 5,1        |
| <b>2004</b> | 29,2       | 0          | 16,6       | 41,6       | 54,8       | 0          | 5,1        | 0          | 80         | 31,7       | 17         | -          |
| <b>2005</b> | 20         | 81,7       | 71,6       | 61,4       | 34,5       | 19         | 8,7        | 0          | 76,2       | 68,5       | 0          | 11         |
| <b>2006</b> | 21         | 47,2       | 78,3       | 124,1      | 60,7       | 45,4       | 0          | 0,1        | 2,2        | 72,7       | 85,5       | 98,3       |
| <b>2007</b> | 58         | 33,2       | 130,3      | 106        | -          | -          | -          | -          | 0          | 95,4       | 71,8       | 36,9       |
| <b>2008</b> | 91,1       | 118,3      | 139,7      | 112,8      | 82,5       | 38,1       | 8,3        | 16,7       | 29,9       | 114,1      | 56,8       | 74,7       |
| <b>2009</b> | 126,9      | 95,2       | 126        | 43,8       | 92,8       | 26,9       | 0,3        | 0          | 2,2        | 71,3       | 7,3        | 65,9       |
| <b>2010</b> | 11,6       | 36,6       | 19,2       | 116,8      | 82,6       | 47,2       | 9,7        | 75,2       | 18,8       | 126,6      | 105,7      |            |
| <b>2011</b> | 69,6       | 94,6       | 78,5       | 135,7      | 37,5       | 14,1       | 65,2       | 21,4       | 13,6       | 59,6       | 25,2       | 44         |
| <b>2012</b> | 64,3       | 113,5      | 105,2      | 157,1      | 29,6       | 30,3       | 0          | 1,8        | 10,7       | 32,9       | 77,6       | 17,8       |
| <b>2013</b> | 44,2       | 83,1       | 72,1       | 333,1      | 72,6       | 0          | 0,1        | 14         | 32,6       | 142,2      | 18,8       | 34         |



**ANEXO II**  
**CORRIDA DE ECUACIONES**

### Corrida con 10 variables

| Artículo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |             |
|----------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|-------------|
|          |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor       |
| 1        | A           | 0,2951  | 1            | 0,2951     | 2            | 0,5902     | 3            | 0,8853     | 2            | 0,5902     | 2               | 0,5902      |
| 2        | B           | 0,2126  | 4            | 0,8504     | 3            | 0,6378     | 4            | 0,8504     | 3            | 0,6378     | 5               | 1,063       |
| 3        | C           | 0,1498  | 2            | 0,2996     | 2            | 0,2996     | 2            | 0,2996     | 3            | 0,4494     | 2               | 0,2996      |
| 4        | D           | 0,1036  | 3            | 0,3108     | 3            | 0,3108     | 4            | 0,4144     | 3            | 0,3108     | 3               | 0,3108      |
| 5        | E           | 0,0698  | 3            | 0,2094     | 3            | 0,2094     | 3            | 0,2094     | 3            | 0,2094     | 3               | 0,2094      |
| 6        | F           | 0,0452  | 3            | 0,1356     | 2            | 0,0904     | 3            | 0,1356     | 4            | 0,1808     | 3               | 0,1356      |
| 7        | G           | 0,0452  | 4            | 0,1808     | 3            | 0,1356     | 3            | 0,1356     | 4            | 0,1808     | 3               | 0,1356      |
| 8        | H           | 0,0292  | 1            | 0,0292     | 2            | 0,0584     | 1            | 0,0292     | 1            | 0,0292     | 1               | 0,0292      |
| 9        | I           | 0,0292  | 5            | 0,146      | 5            | 0,146      | 5            | 0,146      | 5            | 0,146      | 5               | 0,146       |
| 10       | J           | 0,0203  | 5            | 0,1015     | 5            | 0,1015     | 4            | 0,0812     | 3            | 0,0609     | 5               | 0,1015      |
|          |             |         | <b>Total</b> | <b>2,6</b> | <b>Total</b> | <b>2,6</b> | <b>Total</b> | <b>3,2</b> | <b>Total</b> | <b>2,8</b> | <b>Total</b>    | <b>3,02</b> |

### Corrida con 9 variables

| Artículo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |          |
|----------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|----------|
|          |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor    |
| 1        | A           | 0,3119  | 1            | 0,3119     | 2            | 0,6238     | 3            | 0,9357     | 2            | 0,6238     | 2               | 0,6238   |
| 2        | B           | 0,2206  | 4            | 0,8824     | 3            | 0,6618     | 4            | 0,8824     | 3            | 0,6618     | 5               | 1,103    |
| 3        | C           | 0,1524  | 2            | 0,3048     | 2            | 0,3048     | 2            | 0,3048     | 3            | 0,4572     | 2               | 0,3048   |
| 4        | D           | 0,1033  | 3            | 0,3099     | 3            | 0,3099     | 4            | 0,4132     | 3            | 0,3099     | 3               | 0,3099   |
| 5        | E           | 0,0683  | 3            | 0,2049     | 3            | 0,2049     | 3            | 0,2049     | 3            | 0,2049     | 3               | 0,2049   |
| 6        | F           | 0,0436  | 3            | 0,1308     | 2            | 0,0872     | 3            | 0,1308     | 4            | 0,1744     | 3               | 0,1308   |
| 7        | G           | 0,0436  | 4            | 0,1744     | 3            | 0,1308     | 3            | 0,1308     | 4            | 0,1744     | 3               | 0,1308   |
| 8        | H           | 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    |
|          |             |         | <b>Total</b> | <b>2,5</b> | <b>Total</b> | <b>2,5</b> | <b>Total</b> | <b>3,2</b> | <b>Total</b> | <b>2,8</b> | <b>Total</b>    | <b>3</b> |

### Corrida con 8 ecuaciones

| Articulo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo | Yaruquí      |        | Tababela     |        | Chavezpamba  |        | Descanso Eterno |        |
|----------|-------------|---------|------------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|-----------------|--------|
|          |             |         | Valor      | Categoría    | Valor  | Categoría    | Valor  | Categoría    | Valor  | Categoría       | Valor  |
| 1        | A           | 0,3311  | 0,3311     | 2            | 0,6622 | 3            | 0,9933 | 2            | 0,6622 | 2               | 0,6622 |
| 2        | B           | 0,2394  | 0,9576     | 3            | 0,7182 | 4            | 0,9576 | 3            | 0,7182 | 5               | 1,197  |
| 3        | C           | 0,1551  | 0,3102     | 2            | 0,3102 | 2            | 0,3102 | 3            | 0,4653 | 2               | 0,3102 |
| 4        | D           | 0,103   | 0,309      | 3            | 0,309  | 4            | 0,412  | 3            | 0,309  | 3               | 0,309  |
| 5        | E           | 0,0672  | 0,2016     | 3            | 0,2016 | 3            | 0,2016 | 3            | 0,2016 | 3               | 0,2016 |
| 6        | F           | 0,0427  | 0,1281     | 2            | 0,0854 | 3            | 0,1281 | 4            | 0,1708 | 3               | 0,1281 |
| 7        | G           | 0,0427  | 0,1708     | 3            | 0,1281 | 3            | 0,1281 | 4            | 0,1708 | 3               | 0,1281 |
| 8        | H           | 0,0288  | 0,0288     | 2            | 0,0576 | 1            | 0,0288 | 1            | 0,0288 | 1               | 0,0288 |
|          |             |         | 2,4        | <b>Total</b> | 2,5    | <b>Total</b> | 3,2    | <b>Total</b> | 2,7    | <b>Total</b>    | 3      |

### Corrida con 7 ecuaciones

| Articulo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |        | Yaruquí      |        | Tababela     |        | Chavezpamba  |        | Descanso Eterno |        |
|----------|-------------|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|-----------------|--------|
|          |             |         | Categoría    | Valor  | Categoría    | Valor  | Categoría    | Valor  | Categoría    | Valor  | Categoría       | Valor  |
| 1        | A           | 0,3543  | 1            | 0,3543 | 2            | 0,7086 | 3            | 1,0629 | 2            | 0,7086 | 2               | 0,7086 |
| 2        | B           | 0,2392  | 4            | 0,9568 | 3            | 0,7176 | 4            | 0,9568 | 3            | 0,7176 | 5               | 1,196  |
| 3        | C           | 0,1573  | 2            | 0,3146 | 2            | 0,3146 | 2            | 0,3146 | 3            | 0,4719 | 2               | 0,3146 |
| 4        | D           | 0,1017  | 3            | 0,3051 | 3            | 0,3051 | 4            | 0,4068 | 3            | 0,3051 | 3               | 0,3051 |
| 5        | E           | 0,065   | 3            | 0,195  | 3            | 0,195  | 3            | 0,195  | 3            | 0,195  | 3               | 0,195  |
| 6        | F           | 0,0413  | 3            | 0,1239 | 2            | 0,0826 | 3            | 0,1239 | 4            | 0,1652 | 3               | 0,1239 |
| 7        | G           | 0,0413  | 4            | 0,1652 | 3            | 0,1239 | 3            | 0,1239 | 4            | 0,1652 | 3               | 0,1239 |
|          |             |         | <b>Total</b> | 2,4    | <b>Total</b> | 2,4    | <b>Total</b> | 3,2    | <b>Total</b> | 2,7    | <b>Total</b>    | 3      |

### Corrida con 6 ecuaciones

| Artículo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |          |
|----------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|----------|
|          |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor    |
| 1        | A           | 0,3825  | 1            | 0,3825     | 2            | 0,765      | 3            | 1,1475     | 2            | 0,765      | 2               | 0,765    |
| 2        | B           | 0,2504  | 4            | 1,0016     | 3            | 0,7512     | 4            | 1,0016     | 3            | 0,7512     | 5               | 1,252    |
| 3        | C           | 0,1596  | 2            | 0,3192     | 2            | 0,3192     | 2            | 0,3192     | 3            | 0,4788     | 2               | 0,3192   |
| 4        | D           | 0,1006  | 3            | 0,3018     | 3            | 0,3018     | 4            | 0,4024     | 3            | 0,3018     | 3               | 0,3018   |
| 5        | E           | 0,0641  | 3            | 0,1923     | 3            | 0,1923     | 3            | 0,1923     | 3            | 0,1923     | 3               | 0,1923   |
| 6        | F           | 0,0428  | 3            | 0,1284     | 2            | 0,0856     | 3            | 0,1284     | 4            | 0,1712     | 3               | 0,1284   |
|          |             |         | <b>Total</b> | <b>2,3</b> | <b>Total</b> | <b>2,4</b> | <b>Total</b> | <b>3,2</b> | <b>Total</b> | <b>2,7</b> | <b>Total</b>    | <b>3</b> |

### Corrida con 5 ecuaciones

| Artículo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |            |
|----------|-------------|---------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|------------|
|          |             |         | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor      |
| 1        | A           | 0,4185  | 0,4185     | 2            | 0,837      | 3            | 1,2555     | 2            | 0,837      | 2               | 0,837      |
| 2        | B           | 0,2625  | 1,05       | 3            | 0,7875     | 4            | 1,05       | 3            | 0,7875     | 5               | 1,3125     |
| 3        | C           | 0,1599  | 0,3198     | 2            | 0,3198     | 2            | 0,3198     | 3            | 0,4797     | 2               | 0,3198     |
| 4        | D           | 0,0973  | 0,2919     | 3            | 0,2919     | 4            | 0,3892     | 3            | 0,2919     | 3               | 0,2919     |
| 5        | E           | 0,0618  | 0,1854     | 3            | 0,1854     | 3            | 0,1854     | 3            | 0,1854     | 3               | 0,1854     |
|          |             |         | <b>2,3</b> | <b>Total</b> | <b>2,4</b> | <b>Total</b> | <b>3,2</b> | <b>Total</b> | <b>2,6</b> | <b>Total</b>    | <b>2,9</b> |

### Corrida con 4 ecuaciones

| Artículo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |            |
|----------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|------------|
|          |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor      |
| 1        | A           | 0,4673  | 1            | 0,4673     | 2            | 0,9346     | 3            | 1,4019     | 2            | 0,9346     | 2               | 0,9346     |
| 2        | B           | 0,2772  | 4            | 1,1088     | 3            | 0,8316     | 4            | 1,1088     | 3            | 0,8316     | 5               | 1,386      |
| 3        | C           | 0,1601  | 2            | 0,3202     | 2            | 0,3202     | 2            | 0,3202     | 3            | 0,4803     | 2               | 0,3202     |
| 4        | D           | 0,0954  | 3            | 0,2862     | 3            | 0,2862     | 4            | 0,3816     | 3            | 0,2862     | 3               | 0,2862     |
|          |             |         | <b>Total</b> | <b>2,2</b> | <b>Total</b> | <b>2,4</b> | <b>Total</b> | <b>3,2</b> | <b>Total</b> | <b>2,5</b> | <b>Total</b>    | <b>2,9</b> |

### Corrida con 3 ecuaciones

| Artículo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |            | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |            |
|----------|-------------|---------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|------------|
|          |             |         | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor      |
| 1        | A           | 0,5396  | 1            | 0,5396     | 2            | 1,0792     | 3            | 1,6188     | 2            | 1,0792     | 2               | 1,0792     |
| 2        | B           | 0,297   | 4            | 1,188      | 3            | 0,891      | 4            | 1,188      | 3            | 0,891      | 5               | 1,485      |
| 3        | C           | 0,1634  | 2            | 0,3268     | 2            | 0,3268     | 2            | 0,3268     | 3            | 0,4902     | 2               | 0,3268     |
|          |             |         | <b>Total</b> | <b>2,1</b> | <b>Total</b> | <b>2,3</b> | <b>Total</b> | <b>3,1</b> | <b>Total</b> | <b>2,5</b> | <b>Total</b>    | <b>2,9</b> |

Corrida con 2 ecuaciones

| Articulo | DESCRIPCIÓN | INDICES | Guangopolo   |          | Yaruquí      |            | Tababela     |            | Chavezpamba  |            | Descanso Eterno |          |
|----------|-------------|---------|--------------|----------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|-----------------|----------|
|          |             |         | Categoría    | Valor    | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría    | Valor      | Categoría       | Valor    |
| 1        | A           | 0,6667  | 1            | 0,6667   | 2            | 1,3334     | 3            | 2,0001     | 2            | 1,3334     | 2               | 1,3334   |
| 2        | B           | 0,3333  | 4            | 1,3332   | 3            | 0,9999     | 4            | 1,3332     | 3            | 0,9999     | 5               | 1,6665   |
|          |             |         | <b>Total</b> | <b>2</b> | <b>Total</b> | <b>2,3</b> | <b>Total</b> | <b>3,3</b> | <b>Total</b> | <b>2,3</b> | <b>Total</b>    | <b>3</b> |

## ANEXO III. HOJA DE CUSTODIA

### 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: |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |
|           |             |           |                       |                 |    |      |                 |                            |

|                        |  |                 |  |
|------------------------|--|-----------------|--|
| <b>Observaciones :</b> |  | <b>Equipos:</b> |  |
|------------------------|--|-----------------|--|

| Responsable de toma de muestras | Responsable transporte | Responsable Almacenamiento |
|---------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Nombre:                         | Nombre:                | Nombre:                    |
| Firma:                          | Firma:                 | Firma:                     |

|                |        |               |         |        |
|----------------|--------|---------------|---------|--------|
| Recibido por : | Nombre | Revisado por: | Nombre: |        |
|                | Firma  |               | Firma:  |        |
|                | Fecha: |               | Hora:   | Fecha: |