



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE**

**TEMA: IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AMBIENTALMENTE NO
ADECUADAS PARA LA UBICACIÓN DE CAMPOSANTOS EN LOS
CANTONES MEJÍA, QUITO Y RUMIÑAHUI**

AUTOR: ARCOS YÁNEZ, ESTEBAN SEBASTIÁN

DIRECTOR: SINDE GONZÁLEZ, IZAR

SANGOLQUÍ

2020

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *"IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AMBIENTALMENTE NO ADECUADAS PARA LA UBICACIÓN DE CAMPOSANTOS EN LOS CANTONES MEJÍA, QUITO Y RUMIÑAHUI"* fue realizado por el señor Arcos Yáñez, Esteban Sebastián el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de enero del 2020



.....

Ing. Izar Sinde González

C. C: 1756491278

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Arcos Yánez, Esteban Sebastián, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AMBIENTALMENTE NO ADECUADAS PARA LA UBICACIÓN DE CAMPOSANTOS EN LOS CANTONES MEJÍA, QUITO Y RUMIÑAHUI*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Sangolquí, 14 de enero del 2020

Esteban Sebastián Arcos Yánez

C. C: 1723882641

AUTORIZACIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo, Arcos Yánez, Esteban Sebastián, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AMBIENTALMENTE NO ADECUADAS PARA LA UBICACIÓN DE CAMPOSANTOS EN LOS CANTONES MEJÍA, QUITO Y RUMIÑAHUI*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 14 de enero del 2020

Esteban Sebastián Arcos Yánez

C. C: 1723882641

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi madre y padre, Elizabeth Yáñez y Paulo Arcos, quienes me han ayudado a madurar a lo largo de los años y siempre han estado apoyándome para cumplir mis objetivos.

A mi hermano mayor Andrés Arcos que me ha enseñado muchas cosas y ayudado a tomar las decisiones más importantes en mi vida. A mi hermana menor Nathaly Arcos, quien ha sido un motor para mejorar cada día y poder ser un ejemplo para ella.

A mi abuelo Ángel Yáñez, quien fue una parte esencial en mi crecimiento y al que hubiera querido me viera como un profesional completo.

A mis amigos, sin los cuales esta meta no hubiera podido ser cumplida y me ayudaron de diferentes maneras al pasar de los años

A mi amor Kary, que me apoyaste en todas las ocasiones y has sido una de las razones por las que me he vuelto mejor persona a lo largo del tiempo.

...Sebas

AGRADECIMIENTO

Agradecimientos a mi familia quienes han sacrificado muchas cosas para ayudarme a cumplir mis objetivos y ser un profesional, gracias por darme un hogar feliz y permitirme dedicarme a mis estudios.

A todos mis amigos, ustedes me ayudaron en incontables ocasiones y convirtieron a la universidad en un lugar agradable y muy divertido, donde no solo estudiaba, sino que podía reír y ser yo mismo.

A mi Kary, gracias por estar en mis buenos y malos momentos y preocuparte tanto por mí, porque nunca me permitiste rendirme cuando la situación era difícil y sobre todo por hacerme tan feliz.

A todos mis profesores que supieron impartir sus conocimientos en mí y me han convertido en un profesional competente, pero sobre todo en una persona honesta.

A mi tutor Izar Sinde, quién me ayudó en el último tramo de mi formación académica sin esperar nada a cambio y me supo enseñar habilidades que serán de gran utilidad para mi vida profesional.

Finalmente, le agradezco al del Instituto Geográfico Militar por proporcionarme sin ningún costo información temática digital que sirvió para realizar este proyecto.

...Sebas

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del área de estudio.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3 Planteamiento del problema.....	5
1.4 Justificación e importancia.....	6
1.5 Proyectos relacionados.....	8
1.6 Objetivos generales y específicos.....	9
1.6.1 Objetivo General.....	9
1.6.2 Objetivos Específicos.....	9
1.6.3 Metas.....	9
CAPÍTULO II.....	11
2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 Manejo de cadáveres.....	11
2.2 Descomposición de cadáveres.....	12
2.3 Entierro de cadáveres.....	13

2.3.1 Problemas de Entierro de cadáveres	14
2.3.2 Contaminantes en cementerios	15
2.4 Cementerios en Ecuador	15
2.5 Factores en la descomposición de cadáveres	16
2.5.1 Temperatura.....	16
2.5.2 Precipitación	17
2.5.3 Pendiente	17
2.5.4 Textura del suelo	19
2.6 Análisis multicriterio	20
2.6.1 Proceso analítico Jerárquico (AHP)	21
2.6.2 Cálculo de consistencia	23
2.6.3 Relación de consistencia.....	25
2.7 Sistemas de información geográfica.....	25
2.8 Vehículo aéreo no tripulado (UAV)	25
2.8.1 Fotogrametría con UAV	26
2.9 Posicionamiento GNSS.....	27
2.9.1 Posicionamiento puntual preciso (PPP).....	28
2.9.2 Posicionamiento cinemático en tiempo real (RTK)	28
CAPÍTULO III	30
3. METODOLOGÍA.....	30
3.1 Esquema Metodológico.....	30
3.2 Recopilación de información geográfica y climatológica.	31
3.3 Descripción de variables	32
3.3.1 Hidrografía.....	32
3.3.2 Áreas verdes	33
3.3.3 Centro histórico	34
3.3.4 Pendiente	35

3.3.5 Densidad poblacional	35
3.3.6 Textura de suelo.....	36
3.3.7 Precipitación	37
3.3.8 Temperatura.....	37
3.4 Estandarización de variables	38
3.5 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	41
3.5.1 Matriz de pareada de juicios	41
3.5.2 Matriz de prioridades	42
3.5.3 Cálculo de consistencia	44
3.6 Generación de mapa de zonas adecuadas y no adecuadas para cementerios.....	45
3.7 Selección de cementerios para la fase de campo	46
3.8 Generación de cartografía de cementerios seleccionados	47
3.8.1 Materiales	47
3.8.2 Toma de puntos de control	48
3.8.3 Captura de imágenes con UAV	49
3.8.4 Procesamiento de imágenes.....	50
3.8.5 Depuración de nube de puntos.....	51
CAPÍTULO IV	53
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1 Base de datos georreferenciada de información recopilada	53
4.2 Estandarización de variables	53
4.3 Zonas adecuadas y no adecuadas para la ubicación de cementerios	58
4.4 Cementerios seleccionados para la fase de campo	60
4.5 Línea base de cementerios seleccionados para la fase de campo	61
4.5.1 Amaguaña.....	61
4.5.2 Chillogallo	62
4.5.3 Cotogchoa.....	63

4.5.4 Gualea.....	64
4.5.5 Nanegal.....	65
4.5.6 Pintag	67
4.5.7 Sangolquí.....	68
4.5.8 Tambillo.....	69
4.5.9 Yaruquí.....	70
4.5.10 Análisis de datos de la línea base	71
4.6 Cartografía generada escala 1:1000	73
4.7 Tabla de distancias y pendientes de cementerios a cuerpos de agua	78
4.8 Ubicación de cementerios sugerida para no afectación a cuerpos de agua.....	80
CAPÍTULO V.....	82
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
5.1 Conclusiones.....	82
5.2 Recomendaciones	83
6. BIBLIOGRAFÍA	84
7. ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación del porcentaje de pendiente (FAO)</i>	18
Tabla 2. <i>Clasificación del porcentaje de pendiente(IEE)</i>	18
Tabla 3. <i>Clasificación de las clases texturales (USDA)</i>	19
Tabla 4. <i>Escala fundamental de números absolutos</i>	22
Tabla 5. <i>Índice de consistencia aleatoria</i>	24
Tabla 6. <i>Información recopilada de diferentes fuentes de información</i>	31
Tabla 7. <i>Variables utilizadas para el proceso analítico jerárquico AHP</i>	31
Tabla 8. <i>Criterios de proximidad a cuerpos de agua</i>	33
Tabla 9. <i>Criterios de proximidad de áreas verdes</i>	34
Tabla 10. <i>Criterios centro histórico</i>	34
Tabla 11. <i>Criterios de porcentaje de pendiente</i>	35
Tabla 12. <i>Criterios de densidad poblacional</i>	36
Tabla 13. <i>Criterios de textura de suelo</i>	36
Tabla 14. <i>Criterios de precipitación</i>	37
Tabla 15. <i>Criterios de temperatura</i>	38
Tabla 16. <i>Valores de estandarización de variables</i>	38
Tabla 17. <i>Variables, criterios y estandarización</i>	39
Tabla 18. <i>Matriz pareada de comparaciones</i>	42
Tabla 19. <i>Matriz de prioridades W</i>	43
Tabla 20. <i>Matriz de suma de columna B</i>	44
Tabla 21. <i>Selección previa de cementerios para la fase de campo</i>	46
Tabla 22. <i>Equipos y softwares</i>	47
Tabla 23. <i>Coordenadas de puntos de control base</i>	48
Tabla 24. <i>Resumen de procesamiento de imágenes</i>	50
Tabla 25. <i>Resumen de Línea Base a partir de información 1:25000</i>	71
Tabla 26. <i>Distancias y pendiente entre cementerio y el cuerpo de agua más cercano</i>	78
Tabla 27. <i>Distancias de ubicación sugerida para cementerios</i>	80

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Área de influencia del proyecto	1
<i>Figura 2.</i> Vuelo fotogramétrico con UAV.	26
<i>Figura 3.</i> Esquema Metodológico	30
<i>Figura 4.</i> Cálculo de matriz de prioridades	43
<i>Figura 5.</i> Mapa de zonas no adecuadas para cementerios.....	45
<i>Figura 6.</i> Visualización del plan de vuelo en Pix4D capture	50
<i>Figura 7.</i> Depuración manual de nube de puntos.....	52
<i>Figura 8.</i> MDS y MDT del cementerio de Yaruquí	52
<i>Figura 9.</i> GDB de información recopilada.....	53
<i>Figura 10.</i> Estandarización hidrografía.....	54
<i>Figura 11.</i> Estandarización textura de suelo	54
<i>Figura 12.</i> Estandarización pendiente	55
<i>Figura 13.</i> Estandarización áreas verdes	55
<i>Figura 14.</i> Estandarización densidad poblacional.....	56
<i>Figura 15.</i> Estandarización centro histórico.....	56
<i>Figura 16.</i> Estandarización temperatura.....	57
<i>Figura 17.</i> Estandarización precipitación.....	57
<i>Figura 18.</i> Mapa de zonas adecuadas y no adecuadas para cementerios	58
<i>Figura 19.</i> Ubicación geográfica de los cementerios estudiados	59
<i>Figura 20.</i> Mapa de cementerios seleccionados para la fase de campo	60
<i>Figura 21.</i> Cementerio de Amaguaña.....	61
<i>Figura 22.</i> Cementerio de Chillogallo.....	62
<i>Figura 23.</i> Cementerio de Cotogchoa.....	63
<i>Figura 24.</i> Cementerio de Gualea.....	64
<i>Figura 25.</i> Cementerio de Nanegal.....	66
<i>Figura 26.</i> Cementerio de Pintag.....	67
<i>Figura 27.</i> Cementerio de Sangolquí.....	68
<i>Figura 28.</i> Cementerio de Tambillo	69
<i>Figura 29.</i> Cementerio de Yaruquí.....	70
<i>Figura 30.</i> Ortomosaico de cementerio y cuerpo de agua.....	74
<i>Figura 31.</i> MDS de cementerio y cuerpo de agua.....	75
<i>Figura 32.</i> MDT de cementerio y cuerpo de agua.....	76
<i>Figura 33.</i> Mapa de distancia entre cementerio y cuerpo de agua	77

RESUMEN

Debido al constante aumento de la población y por ende de la cantidad de cadáveres, se vuelve de importancia la ubicación y control de nuevos cementerios, así como de los ya existentes, debido a que los lugares escogidos para este fin deben cumplir características ambientales adecuadas, caso contrario los cementerios se convierten en fuentes de contaminación por descomposición de los cadáveres que puede infiltrarse contaminando el suelo y las fuentes de agua más cercanas. La presente investigación tuvo como fin identificar zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de cementerios en los cantones de Mejía, Quito y Rumiñahui y realizar estudios a detalle de camposantos que estén dentro de estas zonas. Para cumplir con dicho objetivo se realizó un análisis multicriterio utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Como resultado se obtuvo un mapa de zonas adecuadas y no adecuadas para la localización de cementerios, con esta herramienta se pudieron identificar 32 cementerios ubicados en zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas, de los que se seleccionaron 9 cementerios para la generación de cartografía escala 1:1000 por medio de captura de información con UAV y el análisis ambiental correspondiente. Entre los cementerios seleccionadas se identificó que ninguno cumple con la normativa de distancia mínima a cuerpos de agua más cercanos (200m) y los cementerios con mayor riesgo de contaminación fueron los de Gualea y Cotogchoa por la proximidad e infraestructura deficiente que presentaban.

PALABRAS CLAVE:

-)] **CEMENTERIOS**
-)] **CONTAMINACIÓN**
-)] **ANÁLISIS MULTICRITERIO**
-)] **PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO**
-)] **UAV**

ABSTRACT

Due to the constant increase of the population and therefore of the number of dead, the location and control of new cemeteries, as well as those already existing, becomes important, because the places chosen for this purpose must meet appropriate environmental characteristics, otherwise, cemeteries become sources of pollution due to the decomposition of dead bodies that can infiltrate the water table by contaminating the soil and the nearest water sources. The purpose of this research was to identify environmentally unsuitable areas for the location of cemeteries in the cantons of Mejía, Quito and Rumiñahui and to carry out detailed studies of graveyards that are within these areas. To achieve this objective, a multicriteria analysis was performed using the Analytic Hierarchy Process (AHP). As a result, a map of suitable and unsuitable areas for the location of cemeteries was obtained, with this tool 32 cemeteries located in unsuitable and slightly adequate areas could be identified, from which 9 cemeteries were selected for the generation of cartography scale 1: 1000 by means of information capture with UAV and the corresponding environmental analysis. Among the selected cemeteries, it was identified that none complies with the minimum distance to nearest bodies of water (200m) and the cemeteries with the highest risk of contamination were Gualea and Cotogchoa due to the proximity and poor infrastructure they presented.

KEYWORDS:

- **CEMETERIES**
- **POLLUTION**
- **MULTI-CRITERIA ANALYSIS**
- **HIERARCHIC ANALYTICAL PROCESS**
- **UAV**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del área de estudio

Como se observa en la Figura 1, el área del proyecto se ubica en la provincia de Pichincha específicamente los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui. El área de estudio limita al norte con Imbabura, al sur con Cotopaxi y Napo, al este con los cantones Pedro Moncayo, Cayambe y provincia de Napo, al oeste con la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas y con el cantón San Miguel de los Bancos.

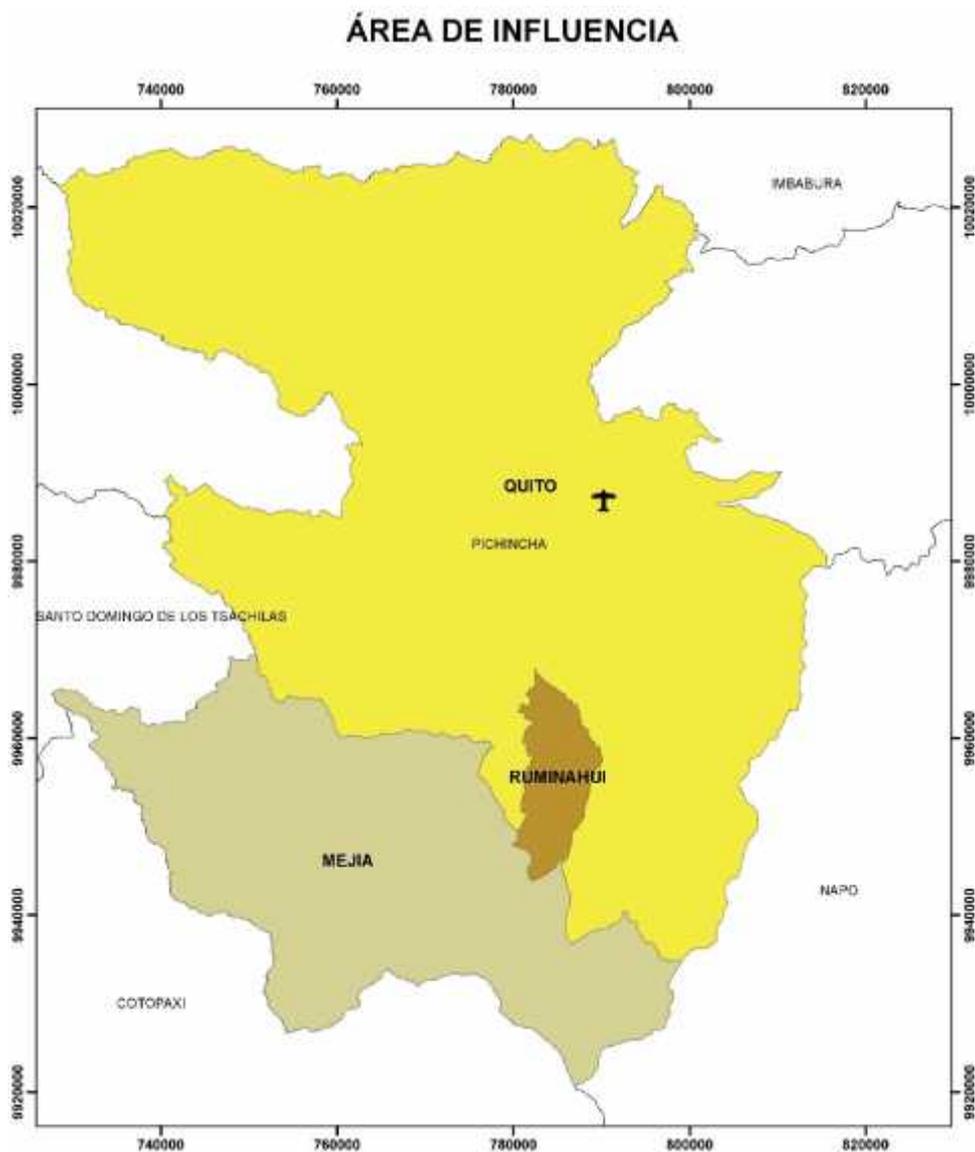


Figura 1. Área de influencia del proyecto

1.2 Antecedentes

Canning & Szmigin (2010), en su investigación bibliográfica establecen que la cremación y el entierro de los muertos son las prácticas más comunes y las que tienen un mayor impacto ambiental, esto lo atribuyen principalmente a cuestiones culturales, religiosas y en algunos casos legales ya que nuevas prácticas como el entierro natural aún no presentan una reglamentación definida.

Zho & Byard (2011), acotan que existen diferentes factores capaces de intervenir en la descomposición de cuerpos, como externos: temperatura, humedad, tipo de suelo, pH, e internos peso, edad, sexo, temperatura antes del deceso. Archer (2004) en su estudio sobre efecto de temperatura y precipitación en la descomposición determina que, el proceso de putrefacción tardó 8 semanas en el año 1999 con precipitaciones semanales de 15mm y tardó 5 semanas en el año 2000 con precipitaciones semanales de 24mm. Concluyendo que a mayor precipitación la descomposición tarda menos tiempo. Santarsiero & Minelli (2000) mencionan en su estudio sobre aspectos higienicos relacionados a los entierros que los granos mas gruesos de suelo permiten que se infiltre liquidos y compuestos de manera mucho mas sencilla, acelerando el procesos de descomposición.

En estudios realizados por Spongberg & Becks (2000), sobre la contaminación provocada por un cementerio en el estado de Ohio, identifican un aumento en las concentraciones en el suelo fuera y dentro del establecimiento: Zinc 2,05 a 4,02 mg/kg, Cobre 0,19 a 0,54 mg/kg, Plomo 0,06 a 0,41 mg/kg y Hierro 392 a 541 mg/kg. También establecen una preocupación por la calidad de aguas subterráneas y sistemas de agua superficial cercanos a la zona de estudio por los datos obtenidos, puesto que los metales pueden infiltrarse a través del suelo y provocar aumento en las concentraciones de los cuerpos de agua. ychowski, J. (2011) en su estudio sobre el efecto de los cementerios en Krakow, indica que no se presentan concentraciones

representativas de compuestos que pudieran afectar el suelo y aguas subterráneas, teniendo valores de Calcio= 25ppm, Fósforo=30ppm, Hierro=35ppm y Plomo= 2ppm. ychowski menciona que estos resultados se presentan debido a ubicaciones ventajosas de los cementerios analizados y características de la zona como: el agua subterránea debajo de los cementerios es profunda, las fluctuaciones en los niveles freáticos son pequeñas y los cementerios están bien drenados hacia el alcantarillado local (ychowski, 2011).

El estudio realizado por Jonker & Olivier (2012) presentó resultados altos de concentraciones de metales del suelo de un cementerio en Sudáfrica con valores de Zinc=9,88mg/kg, Cobre=24,84mg/kg y Plomo=17,57mg/kg. Los resultados los compararon con valores obtenidos del estudio de Spongberg & Becks (2000), determinando que el aumento de concentraciones se debe a la mayor cantidad de tubas en el cementerio de Sudáfrica con más de 60000 mientras que en Ohio solo existían 14600. Otro factor que mencionan para las altas concentraciones es que el cementerio se encuentra en una ladera y por la infiltración las cantidades pueden aumentar, finalmente recomendando un análisis de los pozos de agua cercanos por la posible contaminación.

Otro estudio es el de Rodríguez & Pacheco (2010) quienes analizaron el riesgo de contaminación por parte de cementerios en Portugal, teniendo resultados donde se observa valores entre 3-1850 (unidad formadora de colonias) CFU/100ml coliformes totales y 0-11 CFU/100ml estreptococos fecales dentro del cementerio en comparación con valores de 0-595 CFU/100ml coliformes totales y 0-7 CFU/100ml estreptococos fecales a 300m del cementerio, concluyendo que los mayores niveles bacteriológicos y de parámetros fisicoquímicos fueron encontrados en las muestras más cercanas a cementerios.

En Latinoamérica también se han realizado algunos estudios sobre el tema entre los que están el de Pacheco & Mendes (1991), quienes monitorearon la calidad bacteriológica del agua

subterránea en tres cementerios de la ciudad de Sao Paulo y concluyen que las condiciones higiénicas y sanitarias a nivel freático son insatisfactorias y representan un riesgo real de contaminación para el agua subterránea con valores de 163 CFU/ml de coliformes totales, 55 CFU/ml estreptococos fecales, 14699 CFU/ml Bacterias heterotróficas aerobias y 3492 CFU/ml bacterias lipolíticas. Bastianon & Matos (2000) presentan un estudio sobre levantamiento geofísico para investigar la contaminación de aguas subterráneas por efectos de un cementerio en el sureste de Brasil. Obtienen como resultado cambios químicos en muestras de agua tomadas de pozos de observación, con valores para conductividad eléctrica y oxígeno disuelto de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 1mg/L respectivamente dentro del cementerio y menores a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 3mg/L en el exterior, de esto sugieren contaminación incluso en el subsuelo. En el estudio de Peluso & Vives (2006), donde elaboran una evaluación preventiva sobre el riesgo sanitario de la instalación de un cementerio, indican que el emprendimiento podría ocasionar un impacto sanitario potencial que se extendería a las áreas vecinas, presentando resultados de un área de afectación de 300m a 400m alrededor del cementerio en un periodo de 20 años por lo que son necesarias medidas de mitigación.

Neckel & Costa (2017), realizaron estudios de contaminación fisicoquímica y bacteriológica en el cementerio nacional de Marau, Brazil. Se encontraron resultados en las muestras tomadas de DBO = 2,03mg/L a 11,03mg/L cuando el límite permisible de la región es 5mg/L para DBO, también para bacterias heterótrofas valores entre 2900 CFU/g hasta 18000 CFU/g con límite permisible en la región de 500 CFU/g. Con ello concluyeron que el cementerio tiene niveles de contaminación elevados y después de entrevistar a 80 profesionales especializados en arquitectura, planeación urbana y evaluaciones ambientales de diferentes países, proponen la creación de un cementerio vertical como una alternativa para evitar riesgos de contaminación ya que permite el tratamiento de las sustancias generadas por la descomposición.

En el Ecuador existen pocos estudios sobre el tema de contaminación por cementerios, pero se puede encontrar información en el Acuerdo Ministerial 3523 el reglamento de servicios funerarios y manejo de cadáveres, establecido por el Ministerio de Salud Pública. El reglamento establece las normativas que los establecimientos funerarios deben cumplir para su correcto funcionamiento y regulación de actividades (Ministerio de Salud Pública, 2018).

Se han realizado evaluaciones de impacto ambiental para la implantación de algunos cementerios en el Ecuador como es la expuesta por Bozurto (2014) que establece que las acciones más perjudiciales para la construcción de un nuevo cementerio en Santa Ana, Manabí son el rellenado de la zona para construcción, la circulación de vehículos y la generación de desechos y escombros. Estas acciones generan impactos sonoros, en el agua superficial y en el suelo. También se tiene la evaluación realizada por Ortega (2015) sobre la construcción de un cementerio en el Distrito Metropolitano de Quito. En este se identifica que la contaminación de aguas subterráneas es poco probable ya que al realizar los estudios del suelo no se encontraron fuentes de agua en las cercanías, por otro lado la contaminación del suelo tiene un alto riesgo debido a la generación de fluidos y componentes tóxicos por los procesos de descomposición de cadáveres. Dentro de su planificación establecen la construcción de bóvedas subterráneas de concreto para evitar la filtración de componentes tóxicos.

La presente investigación pretende identificar zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de cementerios en los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui, por medio de análisis multicriterio de información geográfica, para determinar camposantos que no cumplan con las regulaciones ambientales vigentes y elaborar estudios a detalle en aquellos que se encuentren en zonas no adecuadas.

1.3 Planteamiento del problema

El continuo aumento de la población mundial supone un incremento proporcional en la cantidad de cadáveres que se tendrán que gestionar por los gobiernos, esto si bien tiene una gran relevancia económica y ambiental pocos lo consideran un problema de planificación territorial (Basmajian & Coutts, 2010). Al tener en cuenta que el entierro de los muertos es la práctica más común para la disposición final de los cadáveres, seguida por la cremación (Cohen, 2011), es evidente que se incrementará la necesidad de nuevos lugares para la ubicación de fallecidos.

La creciente demanda de nuevos cementerios requiere control en su ubicación debido a que los lugares escogidos deben cumplir características ambientales adecuadas y ser de fácil acceso para la población (Uslu, Baris, & Erdogan, 2009), caso contrario, los cementerios pueden ser fuentes de proliferación de microorganismos, aumento de concentraciones de metales y compuestos orgánicos por el proceso de descomposición, que pueden filtrarse a nivel freático contaminando el suelo y las fuentes de agua más cercanas (Pacheco & Mendes, 1991).

En el Ecuador uno de los lugares con mayor aumento de la población será el cantón Quito, esto según proyecciones realizadas por el INEC en el año 2012 (INEC, 2012), razón por la cual se vuelve de gran importancia el análisis y planificación de la gestión de cadáveres así como la ubicación adecuada de estos lugares, con el fin de que no lleguen a contaminar el ambiente y sea perjudicial para la población o el ecosistema.

La presente investigación pretende realizar un análisis multicriterio con información geográfica para identificar las zonas no adecuadas para la implantación de cementerios y determinar los camposantos que puedan generar contaminación a sus alrededores.

1.4 Justificación e importancia

Los establecimientos funerarios tienen como principal función el ser un lugar de depósito y transformación de cadáveres sin peligro para la salud pública, en este sentido con el creciente

aumento de la población se vuelven lugares de vital importancia. Una de las principales características a tomar en cuenta en estos sitios es su ubicación, porque los lugares escogidos para la construcción de cementerios o camposantos deben cumplir características ambientales adecuadas y ser de fácil acceso para la población (Uslu, Baris, & Erdogan, 2009).

Se han realizado varias investigaciones a nivel mundial como (Pacheco & Mendes, 1991; Spongberg & Becks, 2000; Bastianon & Matos, 2000; Peluso & Vives, 2006) que han demostrado como los cementerios llegan a ser fuentes de contaminación de suelos y agua, debido a la descomposición de cadáveres que generan un aumento de las concentraciones de tipo bacteriológico, de elementos como Zn, P, Fe y Pb además de parámetros físico químicos. Se ha evidenciado en los estudios de (Uslu, Baris, & Erdogan, 2009; ychowski, 2011) que la ubicación de los cementerios se relaciona con el riesgo de contaminación, debido a factores como la profundidad de las aguas subterráneas de la zona, las características del nivel freático del suelo y el sistema de alcantarillado local.

Con base a lo anteriormente dicho se vuelve de relevancia en el ámbito ambiental y de planificación territorial la determinación de zonas que no sean adecuadas para instalación de cementerios, con el fin de evitar daños en los ecosistemas cercanos, además, de la población que pueda hacer uso del agua subterránea contaminada.

La presente investigación busca ser una contribución a la población y autoridades de los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui, con el fin de aportar como base para las decisiones en la planificación de futuros cementerios, esto debido al creciente aumento de la población y por lo tanto el crecimiento de la cantidad de cadáveres a ser manejados, así como ser base para tomar medidas correctivas en los cementerios ya existentes y que se encuentren en zonas no adecuadas en los tres cantones a través de mapas temáticos que se desarrollaran en el presente trabajo. La información obtenida de este proyecto será una fuente de datos preliminar en futuros

estudios, para implementar medidas de mitigación en zonas problemáticas donde la contaminación por cementerios sea un problema para la población o el ambiente.

1.5 Proyectos relacionados

Tema: Inorganic soil contamination from cemetery leachate.

Autor: Spongberg A. & Becks P.

Institución: Water, Air, and Soil Pollution

Año: 2000

Tema: The impact of cemeteries in Kraków on the natural environment–selected aspects.

Autor: ychowski J.

Institución: Geographia Polonica

Año: 2011

Tema: Groundwater contamination from cemeteries cases of study.

Autor: Rodrigues L.& Pacheco A.

Institución: Proceedings of the Environmental 2010

Año: 2010

Tema: Cemeteries-a potential risk to groundwater.

Autor: Pacheco A. & Mendes J.

Institución: Water science and technology

Año: 1991

Tema: Evaluación preventiva espacial del riesgo sanitario por la instalación de un cementerio parque.

Autor: Peluso F. & Vives L.

Institución: *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*

Año: 2006

1.6 Objetivos generales y específicos

1.6.1 Objetivo General

Identificar zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de cementerios en los cantones de Quito, Mejía y Rumiñahui y realizar estudios a detalle de los camposantos que están dentro de estas zonas.

1.6.2 Objetivos Específicos

-) Determinar zonas no aptas para la localización de cementerios a partir de información geográfica temática digital por medio de análisis multicriterio para identificar cementerios en zonas no adecuadas.
-) Elaborar una línea base de los cementerios que se encuentren en las zonas no adecuadas a partir de la información 1:25000 del IGM e información temática recopilada.
-) Generar cartografía a detalle (1:1.000) de los cementerios que se ubican en zonas no adecuadas a través de información obtenida con un vehículo aéreo no tripulado (UAV).
-) Elaborar un análisis geográfico-ambiental preliminar de los cementerios en zonas conflictivas para determinar riesgo de filtración.

1.6.3 Metas

-) Base de datos georrefenciada de información temática.

-) Mapa resultante del análisis multicriterio donde se observen las zonas no adecuadas para la ubicación de cementerios y mapa donde se observen los cementerios ubicados en las mismas.
-) Ortofoto de cada cementerio seleccionado.
-) Modelo digital de terreno sin depurar de cementerios en zonas conflictivas.
-) Modelo digital del terreno depurado de cementerios seleccionados para el análisis geográfico ambiental.
-) Tabla de resultados de distancias y pendientes entre cementerios de en zonas conflictivas y fuentes de agua más cercanas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Manejo de cadáveres

Una de las actividades de importancia personal, cultural y ambiental, por la que todas las personas del mundo pasan alguna vez, es la disposición de los muertos. Esta actividad es una en que las personas normalmente no tienen experiencia para la toma de decisiones, razón por la cual desde el punto de vista cultural los modos de disposición estándar terminan siendo las opciones más comúnmente escogidas. Las formas más conocidas y usadas para el manejo de los cadáveres, cualquiera que sea la religión o cultura, son el entierro y la cremación (Canning & Szmigin, 2010).

Las prácticas de cremación e inhumación pueden cambiar según la región donde se encuentren, pero principalmente se basan en creencias conscientes e inconscientes que se tiene sobre el cuerpo. Estas creencias se ven reflejadas en las estructuras donde yacen los restos de los fallecidos además de los bienes que se necesitan durante y después del entierro. En la cultura europea antigua era una práctica tradicional la cremación de los cuerpos, donde era una muestra de respeto a los muertos. El entierro tradicional llegó con la iglesia católica y se convirtió en una de la practicas más comunes a lo largo del mundo (Rebay-Salisbury, 2012).

Desde el punto de vista judicial en casos de desastres o no identificación del cuerpo las autoridades pueden tomar diferentes decisiones para el manejo de los cadáveres entre las que se tienen la inhumación, cremación, conservación o traslado al extranjero. La inhumación o entierro es la práctica más usada y debe cumplir con las normas básicas de salud. La cremación es el proceso por el cual un cuerpo se reduce a cenizas al exponerlo a grandes temperaturas. La conservación de cuerpos suele realizarse por motivos judiciales y consiste en la refrigeración

de estos a bajas temperaturas, permitiendo que el cuerpo se preserve el mayor tiempo posible (Cohen, 2011).

Existen nuevas tendencias en cuanto a la forma del manejo de cadáveres como por el ejemplo: Utilización de urnas vivas, las cuales se basan en colocar los restos cremados con diluyentes de pH, tierra y una planta viva en un recipiente de rápida degradación, esto permite recordar al fallecido de forma tangible con el crecimiento de la planta (Brewer, 2018). Otra forma es la pulverización de los restos con nitrógeno líquido, proceso llamado promesión el cual tiene la ventaja de no emitir gases a la atmosfera y ser mucho más ecológico que la cremación tradicional (Cisneros, 2011).

2.2 Descomposición de cadáveres

La descomposición de cadáveres es un fenómeno natural producido con el fin de transformar los residuos y estos puedan ser asimilados por la naturaleza. De esta manera se asegura el reciclado completo de agua, carbono y nutrientes en los ecosistemas terrestres, Este proceso tiene efectos directos en los organismos sobre la superficie y subterráneos (Carter & Yellowlees, 2007).

La descomposición puede alterar tanto de forma positiva como negativa las características edáficas y biológicas de la zona debido a los componentes de los cadáveres. Los elementos resultantes de la descomposición están asociados a cambios en la actividad microbiana y de microorganismos del suelo, además de aumentos en concentraciones de calcio, fósforo, amonio, potasio, magnesio, etc. (Carter & Yellowlees, 2007).

El proceso de descomposición de cadáveres puede resumirse en 6 etapas principales (Payne, 1965):

- J Etapa fresca, la cual se relaciona con el agotamiento de oxígeno interno, destrucción de células, presencia de insectos, introducción de microbios anaerobios, cambio de color, olor e hinchazón del cuerpo.
- J Etapa de hinchado, presenta una fuga de líquido acumulado, ruptura en tejidos, aumento de oxígeno y actividad microbiana aerobia.
- J Etapa de decadencia activa, se caracteriza por la pérdida de masa a un ritmo acelerado por la actividad microbiana y de insectos, además de liberación sustancias de fluidos en el suelo.
- J Etapa de decadencia avanzada, proporciona un aumento de la concentración de carbono, nitrógeno y pH en el suelo cercano.
- J Etapa seca, donde se identifica una pérdida lenta de masa, humedad y crecimiento de plantas en los bordes.
- J Etapa restos, se identifica un agotamiento de nutrientes y humedad, aumento del crecimiento de plantas en el área.

2.3 Entierro de cadáveres

El entierro de cadáveres es una de las prácticas más utilizadas para la disposición final de fallecidos y tiene un impacto cultural-religioso en la sociedad, ya que permite a las personas tener un lugar para recordar a sus seres queridos (Rebay-Salisbury, 2012). Cada vez se requiere de un mayor espacio para esta práctica con el continuo aumento de la población, pero muchas veces no es considerado un problema de gran importancia (Basmajian & Coutts, 2010).

Al enterrar un cadáver en el suelo se produce un cambio drástico del tiempo de descomposición comparado al presente sobre la superficie, debido principalmente al limitado

acceso que tienen tanto insectos como microorganismos que facilitan este proceso (Rodríguez & Bass, 1985).

Es ampliamente aceptado que el suelo de textura gruesa o arenosa con bajo contenido de humedad, permite una rápida filtración de gases y fluidos del cadáver a través de la matriz del suelo lo que promueve la descomposición del mismo (Santarsiero & Minelli, 2000).

Por otro lado, los suelos de textura fina o arcillosa generan una ralentización del tiempo de descomposición del cadáver, debido principalmente a que este tipo de textura impide el paso de gases y fluidos a la matriz del suelo, impidiendo la proliferación de bacterias aerobias y dejando el trabajo de descomposición en bacterias anaerobias menos eficientes (Turner & Wiltshire, 1999).

2.3.1 Problemas de Entierro de cadáveres

La práctica más usada y aceptada por diferentes religiones y culturas es el entierro de cadáveres. Esta práctica permite que el cuerpo se descomponga de una manera más lenta que al estar expuesta al aire, esto se debe principalmente al cambio de temperatura y al poco acceso que tienen insectos y animales dependiendo de la profundidad del enterramiento. Un entierro poco profundo puede permitir que los olores de la descomposición penetren fuera de la tierra y sea de molestia para la población (Forbes, 2008).

Desde el punto de vista ambiental el entierro de cadáveres puede traer diferentes problemas como son la contaminación del suelo y aguas subterráneas, debido a la descomposición de los cuerpos y la proliferación de bacterias además de los contaminantes que pueden estar en los ataúdes como barnices, selladores, conservantes, y algunos metales (Canning & Szmigin, 2010).

El entierro de cadáveres también puede causar problemas en el uso de la tierra ya que los cementerios normalmente tienen una restricción de espacio y no permiten el desarrollo de otras

actividades. Con el aumento de la población, que es una característica al de día de hoy, se requiere mayor extensión para la implementación de estos lugares (Canning & Szmigin, 2010).

2.3.2 Contaminantes en cementerios

Existen diferentes contaminantes que pueden producir los cementerios por el efecto de la descomposición de los cadáveres, estos pueden afectar al suelo y aguas subterráneas cercanas. Entre los contaminantes principales se tienen a los orgánicos, inorgánicos y bacteriológicos (Spongberg & Becks, 2000).

Los contaminantes orgánicos son compuestos formados por cadenas de carbonos es decir hidrocarburos como alquenos y alquinos. Los contaminantes inorgánicos se refieren principalmente a elementos como: hierro, cobre, plomo y zinc, los cuales son elementos comunes en la fabricación de ataúdes; calcio, fósforo, nitrógeno y plomo directamente relacionados con la descomposición e incluso se ha determinado al arsénico como un contaminante en cementerios, debido a que barnices y selladores de los ataúdes tienen este compuesto. Los contaminantes bacteriológicos se refieren principalmente a materia orgánica y bacterias que pueden causar enfermedades como coliformes totales, estreptococos fecales, bacterias heterótrofas aerobias y anaerobias, que se han encontrado en cuerpos de agua cercanos a cementerios (Spongberg & Becks, 2000).

2.4 Cementerios en Ecuador

Según la ley, en el Ecuador los establecimientos funerarios deben presentar todos o alguno de los siguientes servicios para ser considerados como tal: Inhumación de cuerpos, cremación, exhumación, depósito de cenizas, capillas o salas de velación, servicio de tanatopraxia y venta de ataúdes. También se define a los cementerios como “Lugares destinados para sepultar: cadáveres, mortinatos, piezas anatómicas, osamentas humanas; o, para depositar las cenizas procedentes de la cremación” (Ministerio de Salud Pública, 2018).

El acuerdo ministerial 3523 del año 2013 establece que los cementerios pueden ser de carácter privado o público y que sus terrenos serán únicos, exclusiva e irrevocablemente destinados a ese fin. Entre algunas normativas se tiene que los cementerios se deben ubicar en zonas de bajo nivel poblacional, terrenos secos y que la capa freática debe encontrarse como mínimo a 2.5m de profundidad. Se establece que los cementerios deben encontrarse alejados de fuentes de agua y no está permitido que se encuentre atravesado por una avenida o calle (Ministerio de Salud Pública, 2018).

En el Ecuador se han planteado diferentes opciones cuando los cementerios llegan a un punto donde el espacio demandado es mayor al disponible, como por el ejemplo el caso de 2011 del cementerio de Riobamba, el cual había llegado a un punto de saturación y se presentó la propuesta para su ampliación (Luna, 2011). También se tiene el diseño de un cementerio intercultural en Otavalo del año 2017, ya que el cementerio de la ciudad se encontraba saturado en un 98% y se requería un cementerio con mayor extensión (Padilla, 2017).

2.5 Factores en la descomposición de cadáveres

Entre los diferentes factores que pueden intervenir en la velocidad de descomposición se tiene: la profundidad del entierro, la textura del suelo, la porosidad, la temperatura ambiente, la humedad, la pendiente del suelo, curso de aguas subterráneas. Además de factores del féretro como tipo de madera, pintura, barnices, etc. (Carter & Yellowlees, 2007).

2.5.1 Temperatura

La temperatura es una variable que determina el grado de calor que tiene el ambiente o un cuerpo, y las unidades de medida más utilizadas son grados Celsius (°C) y el Kelvin (K) (RAE, 2019). Este es uno de los factores que más intervienen en el ecosistema y sus procesos, por lo que no es de extrañar que también sea de importancia para la descomposición, interviniendo especialmente en el tiempo en que un cadáver logra descomponerse (Zhou & Byard, 2011).

En temperaturas altas la putrefacción se incrementa por la cantidad de insectos que son atraídos y la proliferación de bacterias, esto permite que la descomposición sea un proceso mucho más eficaz que en temperaturas bajas. La temperatura para que la putrefacción sea acelerada es superior a los 20 °C y por el contrario cuando la temperatura es inferior a los 10 °C se impide la actividad bacteriana, retardando el tiempo de descomposición (Zhou & Byard, 2011).

2.5.2 Precipitación

La precipitación es una variable importante ya que determina la cantidad de agua que se deposita sobre la superficie y está relacionada con la humedad del suelo, ya que existirá mayor humedad con mayor cantidad de precipitación (FAO, 2009).

La precipitación puede ser un factor que interviene en la descomposición de cuerpos, ya que esta aumenta la pérdida de masa y disminuye el tiempo de descomposición. Esto se debe principalmente a que la lluvia puede lixiviar los componentes del cadáver y aumentar la humedad en el suelo que lo rodea. Con el aumento de la humedad se evita que el cadáver se seque y fomenta la acción de insectos y bacterias, lo que disminuye el tiempo requerido para la descomponían del cuerpo (Archer, 2004).

En casos de lluvias extremas, que inundan el cadáver, la pérdida de masa se ralentiza y disminuye la temperatura ocasionando una descomposición más tardada (Archer, 2004).

2.5.3 Pendiente

La pendiente comúnmente se refiere al grado de inclinación de una superficie, o a la variación de altura en una determinada distancia. La pendiente se puede obtener con equipos en campo o a través del cálculo en un mapa con curvas de nivel. Esta variable es importante ya que puede influir en el riego de cultivos, el drenaje y en características de la erosión del suelo (FAO, 2009).

La pendiente se clasifica de diferentes maneras, como se aprecia en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1.

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

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

Fuente: (FAO, 2009)

Tabla 2.

Clasificación del porcentaje de pendiente por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

Descripción	%Pendiente
Nivel	0-2
Muy suave	2-5
Suave	5-12
Media	12-25
Media a Fuerte	25-40

CONTINÚA 

Fuerte	40-70
Muy fuerte	70-100
Escarpado	100-150

Fuente: (IEE, 2013)

Desde el punto de vista ambiental la pendiente interviene en la movilidad de nutrientes y contaminantes del suelo. En pendientes más inclinadas los compuestos sobre el suelo tienden a movilizarse debido a la escorrentía además que aumenta la velocidad de movimiento, en pendientes menos inclinadas los compuestos suelen ser absorbidos por el suelo por infiltración. Para suelos agrícolas suelen preferirse pendientes más suaves ya que se evita la pérdida de nutrientes por el aumento de infiltración (Li, Wang, & Tang, 2006).

2.5.4 Textura del suelo

La textura del suelo se describe como la “proporción en que están distribuidas las partículas del suelo en un determinado volumen” en otras palabras la textura del suelo se relaciona con la proporción de partículas de arena, limo y arcilla que contiene. La arcilla se caracteriza por ser moldeable y cohesiva, el limo por ser poco moldeable y sentirse áspero después de apretar, la arena por no ser moldeable y tener una sensación granulosa.

Las clases texturales se clasifican según la Tabla 3, por el contenido de arcilla, limo y arena.

Tabla 3.

Clasificación de las clases texturales según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

Tipo de textura	% Arena	% Limo	% Arcilla
Arena	86-100	0-14	0-10
Areno francoso	70-86	0-30	0-15
Franco Arenoso	50-70	0-50	0-20

CONTINÚA 

Franco	23-52	28-50	7-27
Franco limoso	20-50	74-88	0-27
Franco arcillo-arenoso	45-80	0-28	20-35
Franco arcillo-limoso	0-20	0-28	20-35
Franco Arcilloso	20-45	15-52	27-40
Limoso	0-20	88-100	0-12
Arcillo-arenoso	45-65	0-20	35-55
Arcillo-limoso	0-20	40-60	40-60
Arcilloso	0-45	0-40	40-100

Fuente: (USDA, 2003)

La textura del suelo se relaciona con la rapidez de infiltración de gases y fluidos en el suelo, por lo que los suelos de textura arenosa permiten una rápida infiltración y los suelos de textura arcillosa aumentan el tiempo para la infiltración de compuestos (Canning & Szmigin, 2010).

2.6 Análisis multicriterio

Los métodos de decisión multicriterio son un conjunto de métodos utilizados para facilitar la toma de decisiones y se caracterizan principalmente por analizar diferentes alternativas a través de múltiples criterios, buscando con ello cumplir objetivos para la toma de la decisión más adecuada (Barredo, 1996).

Los métodos multicriterio utilizan técnicas numéricas para ayudar a los tomadores de decisiones y existen tres pasos que ayudan a este fin: Primero, identificar los criterios y alternativas más importantes. Segundo, establecer importancia numérica a los criterios y alternativas. Tercero, procesar los datos numéricos para determinar una jerarquía (Triantaphyllou, 2000).

Los métodos de decisión multicriterio se clasifican de dos formas: discretos cuando las alternativas de solución son finitas y multiobjetivo cuando el problema toma un número infinito de valores y conduce a un número infinito de alternativas (Berumen & Redondo, 2007). Entre los métodos discretos más utilizados se tienen: WMS (Modelo de suma Ponderada), se usa cuando los criterios se pueden plantear en las mismas medidas. WMP (Modelo de producto ponderado) se diferencia puesto que elimina las unidades de medida. AHP (Proceso analítico jerárquico) permite obtener evaluaciones numéricas de fenómenos cuantitativos y cualitativos. (Triantaphyllou & Sánchez, 1997).

Una parte importante del análisis multicriterio es la normalización, ya que muchas veces las unidades de los criterios a tomar en cuenta son muy diferentes y se requiere que sean evaluados. También es importante tomar en cuenta la ponderación preferencial porque los diferentes criterios pueden tener diferente importancia dependiendo del problema que se quiere solucionar (Romero, 1996).

2.6.1 Proceso analítico Jerárquico (AHP)

El método de Saaty también conocido como el proceso de jerarquía analítica (AHP) es una teoría de la medición, a través de comparaciones por pares para obtener escalas de prioridad, esto se realiza por medio de juicios de expertos para encontrar las alternativas más idóneas. (Saaty , 2008) Las comparaciones se realizan con datos tangibles como intangibles, y permite organizar los diferentes criterios de decisión además de las alternativas.

Para realizar el proceso analítico jerárquico se siguen los siguientes pasos (Saaty , 2008):

-)] Definir el problema y determinar el conocimiento buscado.
-)] Estructurar la jerarquía de decisión, primero nivel los objetivos de decisión, segundo nivel los criterios a utilizarse y tercer nivel con las alternativas de decisión.
-)] Construir las matrices de comparación pareada

- J) Usar las prioridades obtenidas en cada nivel para obtener los pesos finales de cada criterio y alternativa.

Para realizar las comparaciones se requiere de una escala de números que represente cuanto un elemento es más importante que otro, por lo que se usa la escala de la Tabla 4.:

Tabla 4.

Escala fundamental de números absolutos

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

CONTINÚA 

compara con el criterio j ,
entonces j tiene el valor
recíproco cuando se compara
con i .

Fuente: (Saaty, 1988)

Para realizar las comparaciones se pregunta, cuanto más importante es el elemento de la izquierda de la matriz que el elemento de la parte superior de la matriz, con respecto al objetivo en cuestión. Este es un paso esencial ya que si la pregunta se formula de manera incorrecta la respuesta que se obtendrá también lo será (Saaty, 1988).

La matriz de prioridades se obtiene de forma exacta cuando la matriz de comparación pareada es elevada a grandes potencias, después sumando cada fila y finalmente dividiendo cada una por la suma total de todas las filas. La respuesta se aproxima sumando cada fila de la matriz y dividiendo para su total (Saaty, 2008).

La matriz construida debe de cumplir las siguientes propiedades (Saaty, 1986):

-) Reciprocidad: Si $a_{ij} = x$, entonces $a_{ji} = 1/x$, con $1/9 \leq x \leq 9$.
-) Homogeneidad: Si los elementos i y j son considerados igualmente importantes entonces $a_{ij} = a_{ji} = 1$, además $a_{ii} = 1$ para todo i .
-) Consistencia: Se satisface que $a_{ik} * a_{kj} = a_{ij}$ para todo $1 \leq i, j, k \leq n$.

2.6.2 Cálculo de consistencia

Para el cálculo de consistencia teniendo una matriz de comparación pareada A y una matriz de prioridades W , se busca el máximo vector propio de la matriz pareada conocido como λ_{\max} (Saaty, 2000).

Siendo

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix}$$

$$B = \left(\sum_{n=1}^n a_{1n} \quad \sum_{n=1}^n a_{2n} \quad \dots \quad \sum_{n=1}^n a_{nn} \right)$$

max. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\lambda = B * W \quad (1)$$

Donde

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

W= Matriz de prioridades

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

Continuando se calcula el índice de consistencia de la matriz pareada a partir de la siguiente ecuación.

$$C = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (2)$$

Donde n es el tamaño de la matriz pareada.

El valor obtenido se relaciona con el valor del índice de consistencia aleatoria para finalmente obtener el valor de relación de consistencia. El índice de consistencia aleatoria se observa en la Tabla 5. (Saaty, 2000):

Tabla 5.

Índice de consistencia aleatoria

Tamaño de la matriz (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Consistencia aleatoria	0.00	0.00	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Fuente: (Saaty, 2000)

2.6.3 Relación de consistencia

$$C = \frac{C}{a} \quad (3)$$

La máxima relación de consistencia aceptada para determinar si la matriz es consistente es: para una matriz de tamaño 3 = 5%, de tamaño 4= 9% y mayores de tamaño 5= 10%, caso contrario se deben realizar los juicios de la matriz pareada nuevamente (Saaty, 2000).

2.7 Sistemas de información geográfica

Un sistema de información geográfica o SIG puede ser definido como una tecnología de información que almacena, analiza y muestra datos tanto espaciales como no espaciales. Entre las características principales del SIG está el procesamiento de datos espaciales, numéricos y de texto para lograr un objetivo. Los datos espaciales son datos que representan objetos que tienen dimensiones físicas sobre la superficie terrestre, estos datos pueden ser representados como puntos, líneas o polígonos en mapas (Parker, 1988).

Entre las aplicaciones de un SIG se pueden encontrar la planificación, el manejo de recursos naturales y una de las más utilizadas la simulación de fenómenos para entender su comportamiento y que las autoridades puedan tomar las medidas adecuadas (Parker, 1988).

2.8 Vehículo aéreo no tripulado (UAV)

El término UAV se usa como sinónimo para vehículos no tripulados o aviones piloteados a distancia, pero una mejor definición es la de vehículos aéreos motorizados deshabitados y reutilizables. Esta tecnología ha sido implementada para su utilización en el campo de la fotogrametría, esto se logra incorporando al vehículo una cámara pequeña o mediana, sistemas de cámara térmica o infrarroja, sistema LIDAR o una combinación de ellos. La fotogrametría UAV puede entenderse como una herramienta de medición fotogramétrica y además abre nuevas aplicaciones en el dominio de corto alcance y tiempo real (Eisenbeiss, 2009).

Los ventajas principales que tiene la utilización de UAVs son que se pueden utilizar: en situaciones de alto riesgo sin poner en peligro vidas humanas, en zonas de difícil acceso, se puede volar debajo de las nubes, en lluvias si esta impermeabilizado, además de la adquisición de datos en tiempo real y un costo mucho menor que la utilización de aviones tripulados (Eisenbeiss, 2009).

2.8.1 Fotogrametría con UAV

La fotogrametría con UAV permite la toma de imágenes de áreas de interés para generación de cartografía a detalle (ver Figura 2), pero para esto se requiere de un plan de vuelo, mediciones de puntos de control, adquisición de imágenes y procesamiento para generación de productos en 2D y 3D (Remondino, 2011).



Figura 2. Vuelo fotogramétrico con UAV.

Fuente: (DJI, 2019)

Entre las ventajas principales que tiene la fotogrametría con UAV es el bajo costo que tiene la captura de información, la versatilidad del equipo al poder despegar en espacios pequeños, tener mejor resolución de imágenes que las tomadas con equipos aéreos tripulados, y la capacidad de generación de modelos del terreno o de superficie a partir de las imágenes tomadas (Remondino, 2011).

Aun así, la utilización de UAVs aún tienen deficiencias como la incapacidad de tomar imágenes desde altura demasiado elevadas, limitado tiempo de vuelo por las baterías utilizadas, se requieren un número mucho mayor de imágenes para abarcar áreas con buena resolución y la estabilidad del equipo puede verse afectada por el viento (Remondino, 2011).

En el futuro se espera mejoras que permitan reducir las deficiencias con el desarrollo de nueva tecnología, hoy en día la fotogrametría con UAV tiene aplicaciones en la agricultura, análisis ambientales, generación de cartografía, monitoreo de tráfico y generación de modelos 3D de la superficie (Remondino, 2011).

2.9 Posicionamiento GNSS

Dependiendo de las mediciones utilizadas, la época de los datos y el número de receptores involucrados, los métodos de posicionamiento GNSS se pueden clasificar en: Posicionamiento de punto único (SPP) que obtiene coordenadas desde una sola época y un solo receptor. Posicionamiento puntual preciso (PPP) utiliza mediciones de códigos y fase de un receptor por un periodo de observación, de minutos hasta horas. GPS diferencial (DGPS) usa correcciones diferenciales de una estación base y mediciones de código en una época para calcular la coordenada final. Posicionamiento cinemático en tiempo real (RTK) que obtiene coordenadas desde una sola época con mediciones de fase en tiempo real (Feng & Wang, 2008).

Los métodos DGPS son los métodos de posicionamiento más utilizados y confiables además de los más estudiados, sin embargo, estos métodos requieren observación simultánea de

satélites GPS en una estación base y un receptor móvil, complicando la adquisición de datos. La reducción de errores con estos métodos depende de la distancia entre las bases y los móviles, lo que interviene en la logística de las mediciones. También se debe tomar en cuenta que muchas veces estos métodos resultan ser más costosos en equipo y mano de obra por la necesidad de una estación base, y se requiere más de una en algunas ocasiones (Gao & Chen, 2004).

2.9.1 Posicionamiento puntual preciso (PPP)

El posicionamiento puntual preciso (PPP) se basa en el procesamiento de pseudorange no diferenciado y observaciones de fase de un solo receptor GPS, por lo que no es necesario una estación base para procesamiento. El PPP requiere de orbitas precisas y datos de reloj satelital GPS para el cálculo de coordenadas, con estos datos se busca corregir los errores ionosféricos y troposféricos de medición. Este método es mucho más simple a comparación del DGPS y su costo es menor. Además, puede llegar a precisiones desde los decímetros a los centímetros (Gao & Chen, 2004)

Una de las limitaciones es el tiempo que requiere para tomar la coordenada con mayor precisión, ya que en algunos estudios se ha demostrado que para llegar a precisiones menores a los 10 cm es necesario tomar datos al menos más de 2 horas. Este método aun requiere de desarrollo para poder remplazar a los métodos cinéticos en tiempo real (Huber & Heuberger, 2010).

Existen algunos softwares en línea y descargables que sirven para la corrección de coordenadas PPP. Los usuarios normalmente solo requieren cargar o enviar archivos de datos de observación GNSS en formato RINEX, con ello estos servidores descargarán las correspondientes efemérides precisas y correcciones de reloj para procesar las coordenadas automáticamente (Guo, 2015).

2.9.2 Posicionamiento cinemático en tiempo real (RTK)

El posicionamiento RTK obtiene coordenadas en tiempo real con la utilización de una base y un receptor móvil dando resultados de alta precisión con bajo tiempo de inicialización. RTK aplica la técnica de doble diferencia para la eliminación, o al menos una reducción significativa, de todas las principales fuentes de error en la medición (Landau & Chen, 2009).

La estación de referencia GPS transmite datos de fase y pseudorange a través de un enlace de radio a la estación móvil, para el cálculo de las coordenadas. Se pueden usar receptores GPS de una o doble frecuencia, pero los equipos doble frecuencia dan mejores resultados en distancias más largas. La precisión del método es cercana a 10mm en horizontal y 20 mm en vertical (Langley, 1998).

La principal limitante de este método es la dependencia de una estación base y la incapacidad de trabajar a largas distancias de la misma, ya que mientras la distancia aumenta los efectos atmosféricos producen mayores errores en la medición de coordenadas (Landau & Chen, 2009).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Esquema Metodológico

La metodología utilizada para la investigación se dividió principalmente en tres etapas: Recopilación de información, Análisis multicriterio y Fase de campo como se muestra en la Figura 3.

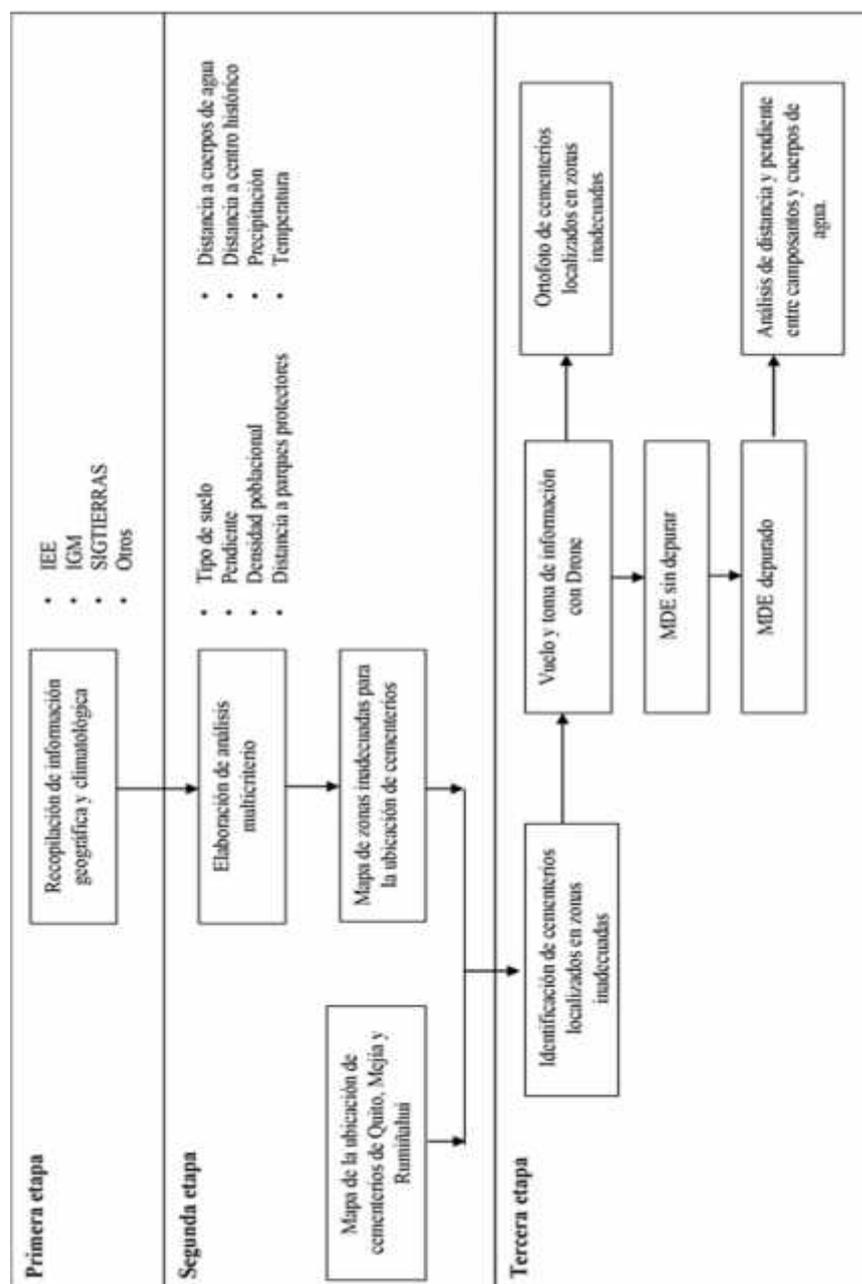


Figura 3. Esquema metodológico

3.2 Recopilación de información geográfica y climatológica.

La información de las zonas de los cantones de Mejía, Quito y Rumiñahui se recopiló en formato digital. En la Tabla 6 se describe la información con su respectiva fuente.

Tabla 6.

Información recopilada de diferentes fuentes de información

Información recopilada	Escala	Fuente de información
Mapa de isotermas	1:25000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Mapa de isoyetas	1:25000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Mapa de geo pedología	1:25000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Mapa de hidrografía	1:25000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
Mapa de densidad poblacional	1:25000	Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE)
Catastro quito	1:25000	Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
Curvas de nivel	1:25000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
MDTs	1:5000	Sigtierras
Mapa de lagos y lagunas	1:25000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
Áreas verdes	1:25000	Municipio del Distrito Metropolitano de Quito
Parques protectores	1:25000	Instituto Geográfico Militar (IGM)
Ubicación de cementerios	1:25000	Instituto Geográfico Militar (IGM)

A partir de la información recopilada se obtuvieron las variables que se tomarán en cuenta para el análisis multicriterio. Las variables que se utilizaron a escala 1:25000 en formato shp. se pueden apreciar en el la Tabla 7:

Tabla 7.

Variables utilizadas para el proceso analítico jerárquico AHP

Nombre de variable	Descripción de variable	Subtipo de variable	Unidad
---------------------------	--------------------------------	----------------------------	---------------

CONTINÚA 

Hidrografía	Distancia hasta los cuerpos de agua más cercanos	Cuantitativa	m
Textura suelo	Característica del suelo	Cualitativa	-----
Densidad poblacional	Cantidad de personas por Km ²	Cuantitativa	Habitantes/km ²
Pendiente	Grados de inclinación de la superficie terrestre	Cuantitativa	%
Áreas verdes	Distancia a los parques protectores, parques metropolitanos y áreas protegidas más cercanos	Cuantitativa	m
Centro histórico	Se encuentra dentro o fuera del área del centro histórico	Cualitativa	-----
Precipitación	Cantidad de precipitación medida en mm de altura	Cuantitativa	mm
Temperatura	Magnitud de calor medida en una determinada zona	Cuantitativa	°C

3.3 Descripción de variables

3.3.1 Hidrografía

La variable hidrografía se seleccionó al determinar la importancia que tiene la distancia desde cementerios a cuerpos de agua, en caso de una posible contaminación. Se utilizó información 1: 25000 obtenida del instituto geográfico militar (IGM) y se tomaron en cuenta para la misma ríos de primer orden, ríos perennes, lagos y lagunas.

Según el acuerdo ministerial 3523 del año 2013 se establece que los cementerios deben ubicarse a una distancia mínima de 200m de cualquier cuerpo de agua cercano, por lo que se

determinó que las áreas más próximas a cuerpos de aguas serán zonas menos adecuadas para la ubicación de cementerios.

En la Tabla 8 se pueden apreciar los criterios elegidos en cuanto a proximidad a cuerpos de agua para la investigación.

Tabla 8.
Criterios de proximidad a cuerpos de agua.

Variable	Criterios
HIDROGRAFÍA	(0-200) m
	(200-500) m
	(500-1500) m
	(1500-4000) m
	(>4000) m

3.3.2 Áreas verdes

La variable áreas verdes se relaciona con la proximidad a zonas protegidas y áreas verdes dentro de los cantones Mejía, Quito y Rumiñahui. Se escogió esta variable al determinar que los cementerios pueden ser fuentes de contaminación de compuestos orgánicos, inorgánicos y biológicos (Spongberg & Becks, 2000), por lo que puede afectar a los ciclos biológicos y ecosistemas presentes en estos sitios. En estudios realizados sobre impacto ambiental de cementerios determinan que estos tienen un área de influencia directa e indirecta entre los 200 a 500 metros a la redonda (Peluso & Vives, 2006; Morales & Silva, 2006; Bozurto, 2014) y en algunos casos se establece su área de influencia indirecta entre 1,5 y 2 km a la redonda (Álava, 2017; Arroyo, 2017).

Para la variable áreas verdes se usó información del IGM y Municipio de Quito, en la que constaban bosques protectores, áreas protegidas, parques protegidos y metropolitanos. La Tabla

9 muestra los criterios de proximidad a áreas verdes que se tomaron en cuenta. (Peluso & Vives, 2006)

Tabla 9.
Criterios de proximidad a áreas verdes.

Variable		Criterios
ÁREAS VERDES	Proximidad a áreas verdes	(0-500) m
		(500-1500) m
		(1500-5000) m
		(50000-10000) m
		(>10000) m

3.3.3 Centro histórico

La variable centro histórico se tomó en cuenta ya que la ordenanza 260 del distrito metropolitano de Quito, sobre áreas y bienes patrimoniales especifica que no se puede implementar nuevos equipamientos dentro de los límites del centro histórico. Los equipamientos constan de escuelas, gasolineras, espacios deportivos, cementerios, salas de velación, crematorios, etc.

Para esta variable se digitalizó el perímetro del centro histórico a partir del catastro descargado de la página del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. La Tabla 10 muestra el criterio tomado para esta variable.

Tabla 10.
Criterios de centro histórico.

Variable	Criterios
CENTRO HISTÓRICO	Área dentro del centro histórico

CONTINÚA 

Área fuera del
centro histórico

3.3.4 Pendiente

La variable pendiente determina el porcentaje de inclinación que tiene la superficie del suelo. Esta variable es de importancia ya que interviene en la movilidad de nutrientes y contaminantes del suelo, en pendientes más inclinadas los compuestos sobre el suelo tienden a movilizarse debido a la escorrentía además que aumenta la velocidad de movimiento (Li, Wang, & Tang, 2006).

Los datos necesarios para la obtención de la pendiente fueron modelos digitales del terreno (MDT), estos fueron obtenidos de la página oficial del SIGTIERRAS a escala 1:5000. En la Tabla 11 se observan los criterios usados, los mismo que se obtuvieron de la clasificación de pendientes que realiza el IEE en sus mapas.

Tabla 11.
Criterios de porcentaje de pendiente

Variable	Criterios
	Nivel (0-2) %
	Suave (2-5) %
PENDIENTE	Media (5-25) %
	Fuerte (25-40) %
	Muy Fuerte (mayor a 40%)

3.3.5 Densidad poblacional

La variable densidad poblacional se refiere a la cantidad de habitantes por kilómetro cuadrado. Según el acuerdo ministerial 3523 del año 2013, los cementerios deben ubicarse en zonas de bajo nivel antrópico, en otras palabras, zonas con una baja densidad poblacional.

La información utilizada se obtuvo del Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) del año 2013 y los criterios se explican en la Tabla 12.

Tabla 12.
Criterios de densidad poblacional

Variable	Criterios
DENSIDAD POBLACIONAL	Zonas vacías (0-2) hab/km ²
	Baja (3-20) hab/km ²
	Media (21-80) hab/km ²
	Alta (81-160) hab/km ²
	Muy Alta (mayor a 160) hab/km ²

3.3.6 Textura de suelo

La textura del suelo se relaciona con la capacidad de infiltración de nutrientes y contaminantes en el suelo, los suelos arenosos tienen una mayor capacidad de infiltración de contaminantes que los suelos arcillosos (Canning & Szmigin, 2010). Por estas razones la textura del suelo se vuelve de importancia en la determinación de lugares para cementerios.

La información fue obtenida de la página web del IEE, de la capa de información de geopedología del año 2013. Los criterios de textura de suelo se pueden observar en la Tabla 13.

Tabla 13.
Criterios de textura de suelo

Variable	Criterios
TEXTURA DEL SUELO	Arena gruesa
	Arenoso
	Areno francoso
	Franco Arenoso
	Franco

CONTINÚA 

Franco limoso
Franco arcillo-arenoso
Franco arcillo-limoso
Franco Arcilloso
Limoso
Arcillo-arenoso
Arcillo-limoso
Arcilloso

3.3.7 Precipitación

La precipitación es una variable de importancia en cuanto a la ubicación de cementerios, debido principalmente a que contribuye en los procesos de descomposición de cadáveres. De esta manera se vuelve de interés los datos de la cantidad de lluvia que se presentan en los cantones de Mejía, Quito y Rumiñahui.

Los datos se obtuvieron de la página del IEE, de la capa de información climatológica del 2013. La Tabla 14 muestra los criterios utilizados para la investigación.

Tabla 14.
Criterios de precipitación

Variable	Criterios
	(0-500) mm
Rango de	(500-1000) mm
PRECIPITACIÓN	(1000-2000) mm
precipitación media	(2000-3000) mm
por año	(mayor a 3000) mm

3.3.8 Temperatura

La temperatura influye en el tiempo de descomposición de cuerpos, dado que temperaturas más elevadas aceleran el proceso y en temperaturas bajas la descomposición tarda un tiempo mayor (Zhou & Byard, 2011). Así la variable se vuelve de interés en cuanto a la ubicación de zonas para cementerios. Los criterios utilizados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.
Criterios de temperatura

Variable	Criterios
	(1-5)
	(6-10)
TEMPERATURA	Rango de temperatura media
	(11-15)
	por año
	(16-20)
	Mayor a 20

3.4 Estandarización de variables

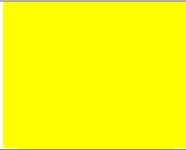
Dado que las variables seleccionadas para realizar el análisis multicriterio tienen diferentes unidades, se vuelve de importancia estandarizar los criterios de cada variable para que todas trabajen con las mismas magnitudes.

Para ello se tomó una escala del 1 al 5 donde los criterios calificados con 1 serán los que caractericen zonas más adecuadas y los calificados con 5 zonas menos adecuadas, como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16.
Valores de estandarización de variables

Valor	Categoría	Simbología
5	No adecuado	
4	Ligeramente adecuado	

CONTINÚA 

3	Moderadamente adecuado	
2	Muy adecuado	
1	Completamente adecuado	

La estandarización se llevó a cabo para cada criterio de las variables en el software ArcGis 10.3 según los valores establecidos en la Tabla 17.

Tabla 17.
Variables, criterios y estandarización

Variable	Criterio	Valor	Categoría
HIDROGRAFÍA	(0-200) m	5	No adecuado
	(200-500) m	4	Ligeramente adecuado
	(500-1500) m	3	Moderadamente adecuado
	(1500-4000) m	2	Muy adecuado
	(>4000) m	1	Completamente adecuado
ÁREAS VERDES	(0-500) m	5	No adecuado
	(500-1500) m	4	Ligeramente adecuado
	(1500-5000) m	3	Moderadamente adecuado
	(5000-10000) m	2	Muy adecuado
	(>10000) m	1	Completamente adecuado
CENTRO HISTÓRICO	Área dentro del centro histórico	5	No adecuado
	Área fuera del centro histórico	1	Completamente adecuado
PENDIENTE	Nivel (0-2) %	1	Completamente adecuado

CONTINÚA 

	Suave (2-5) %	2	Muy adecuado
	Media (5-25) %	3	Moderadamente adecuado
	Fuerte (25-40) %	4	Ligeramente adecuado
	Muy Fuerte (mayor a 40%)	5	No adecuado
DENSIDAD POBLACIONAL	Zonas vacías (0-2) hab/km ²	1	Completamente adecuado
	Baja (3-20) hab/km ²	2	Muy adecuado
	Media (21-80) hab/km ²	3	Moderadamente adecuado
	Alta (81-160) hab/km ²	4	Ligeramente adecuado
	Muy Alta (mayor a 160) hab/km ²	5	No adecuado
TEXTURA DEL SUELO	Arena gruesa	5	No adecuado
	Arenoso	5	No adecuado
	Areno francoso	5	No adecuado
	Franco Arenoso	4	Ligeramente adecuado
	Franco	4	Ligeramente adecuado
	Franco limoso	4	Ligeramente adecuado
	Franco arcillo-arenoso	3	Moderadamente adecuado
	Franco arcillo-limoso	3	Moderadamente adecuado
	Franco Arcilloso	2	Muy adecuado
	Limoso	2	Muy adecuado
	Arcillo-arenoso	2	Muy adecuado
	Arcillo-limoso	1	Completamente adecuado
	Arcilloso	1	Completamente adecuado
PRECIPITACIÓN	(0-500) mm	1	Completamente adecuado
	(500-1000) mm	2	Muy adecuado
	(1000-2000) mm	3	Moderadamente adecuado

CONTINÚA 

	(2000-3000) mm	4	Ligeramente adecuado
	(mayor a 3000) mm	5	No adecuado
TEMPERATURA	(1-5)	1	Completamente adecuado
	(6-10)	2	Muy adecuado
	(11-15)	3	Moderadamente adecuado
	(16-20)	4	Ligeramente adecuado
	Mayor a 20	5	No adecuado

3.5 Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Para el análisis multicriterio se utilizó el método AHP y desde el punto de vista ambiental se buscó determinar las zonas no adecuadas para la ubicación de cementerios. Este método fue seleccionado al permitir trabajar con información cualitativa y cuantitativa que trabaja con diferentes unidades, además de juicios tanto desde el punto de vista ambiental como geográfico para obtener los mejores resultados. De esta manera se buscó dar mayor importancia a ciertas variables sobre otras, por cómo pueden afectar la distribución de contaminantes.

3.5.1 Matriz de pareada de juicios

Con el método AHP se generó una matriz pareada compuesta por todas las comparaciones de las variables, haciendo la siguiente pregunta: ¿cuánto más importante es el elemento de la izquierda de la matriz que el elemento de la parte superior de la matriz, con respecto al objetivo en cuestión? Y se valoró la importancia siguiendo la escala de Saaty de números fundamentales de la Tabla 4.

De esta manera la primera pregunta para jerarquizar las variables fue: ¿Cuánto más importante es la variable hidrografía con respecto a la textura del suelo desde el punto de vista ambiental para la ubicación de cementerios? El valor asignado fue de 3, lo que quiere decir, que la hidrografía tiene una importancia moderadamente mayor al suelo.

Siguiendo el mismo proceso se hizo la pregunta ¿Cuánto más importante es la variable textura del suelo con respecto a la hidrografía desde el punto de vista ambiental para la ubicación de cementerios? El valor que se le da es de 1/3, ya que la textura del suelo tiene una importancia moderadamente menor al suelo. Aquí se observa que al ser la pregunta contraria el valor debe ser el recíproco de la pregunta original.

Este proceso se replicó para cada variable hasta llenar la matriz pareada por completo, como se observa en la Tabla 18.

Tabla 18.
Matriz pareada de comparaciones

	Hidrografía	Textura del suelo	Densidad poblacional	Pendiente	Áreas verdes	Centro histórico	Precipitación	Temperatura
Hidrografía	1,00	3,00	7,00	2,00	6,00	8,00	2,00	4,00
Textura del suelo	0,33	1,00	5,00	0,50	4,00	6,00	0,50	2,00
Densidad poblacional	0,14	0,20	1,00	0,17	0,50	2,00	0,17	0,33
Pendiente	0,50	2,00	6,00	1,00	5,00	7,00	1,00	3,00
Áreas verdes	0,17	0,20	2,00	0,20	1,00	3,00	0,20	0,33
Centro histórico	0,13	0,20	0,33	0,14	0,33	1,00	0,14	0,20
Precipitación	0,50	2,00	6,00	1,00	5,00	7,00	1,00	3,00
Temperatura	0,25	1,00	3,00	0,33	3,00	5,00	0,33	1,00

3.5.2 Matriz de prioridades

Para el cálculo de la matriz de prioridades de las variables se siguió el método elevando a potencias la matriz pareada, después sumando cada fila y finalmente dividiendo cada una por la suma total de todas las filas (Saaty , 2008). El proceso se realizó hasta que la matriz de

prioridades no variaba los resultados obtenidos hasta el cuarto decimal. El trabajo fue realizado con ayuda de una hoja de cálculo, tal como se observa en la Figura 4.

	A	D	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1											Suma filas	Prioridad
2			1,00	3,00	7,00	2,00	6,00	3,00	2,00	4,00	31,00	0,2913
3			0,33	1,00	5,00	3,00	4,00	3,00	0,50	2,00	19,33	0,1472
4			3,14	0,20	1,00	0,17	0,50	2,00	0,17	0,33	4,51	0,0343
5		A	0,50	2,00	6,00	1,00	5,00	7,00	1,00	3,00	25,50	0,1942
6			3,17	0,20	2,00	3,20	1,00	3,00	0,20	0,33	7,10	0,0541
7			3,13	0,20	0,33	0,14	0,33	1,00	0,14	0,20	2,48	0,0189
8			0,50	2,00	6,00	1,00	5,00	7,00	1,00	3,00	25,50	0,1942
9			0,25	1,00	3,00	3,00	3,00	5,00	0,20	1,00	13,00	0,0600
10												
11			8,00	22,20	73,67	2,34	52,17	114,00	12,34	31,33	342,65	0,2953
12			3,80	9,00	31,33	5,30	26,60	63,67	6,30	12,63	119,78	0,1288
13			0,94	2,30	7,67	1,38	5,99	13,34	1,33	3,20	34,73	0,0299
14	A	A'	5,48	4,10	52,83	3,00	40,33	79,00	8,00	23,37	227,82	0,1963
15			1,34	3,00	10,67	1,91	7,80	17,00	1,91	5,20	17,76	0,0412
16			3,31	1,68	5,52	3,97	4,41	7,37	0,97	2,38	24,41	0,0210
17			5,48	4,10	52,83	3,00	40,33	79,00	8,00	23,37	227,82	0,1963
18			2,72	6,26	24,42	3,31	18,03	37,67	5,61	9,00	135,72	0,0911
19												
20			536,45	1491,69	5380,72	879,16	4058,99	8553,51	870,16	2104,13	23077,61	0,2970
21			256,31	641,63	2305,17	375,77	1761,96	3491,46	375,77	905,36	10107,46	0,1275
22			62,69	156,77	566,31	91,77	431,66	856,59	91,77	221,31	2478,86	0,0312
23			331,75	970,00	3523,07	570,00	2600,50	5004,34	570,00	1330,14	15442,03	0,1045
24	A	A''	95,39	214,11	772,52	125,19	599,45	1186,69	125,19	302,32	3381,02	0,0426
25			44,28	110,41	389,21	64,72	304,00	604,77	64,72	165,81	1747,80	0,0220
26			331,75	970,00	3523,07	570,00	2600,50	5004,34	570,00	1330,14	15442,03	0,1045
27			182,04	456,78	1540,65	250,50	1211,87	2481,44	250,50	645,17	7187,74	0,0906
28												
29			2057520,5	7142034,7	25750070,4	4104439,0	10035115,7	33900700,0	4104400,0	1007907,0	12030225,01	0,2970
30			1226874,5	3066706,7	1105704,0	736635,4	843034,9	15730299,2	1796005,4	4327442,7	4843182,63	0,1275
31			300165,4	750305,5	2700243,0	432550,5	2062880,5	4093274,8	439560,5	058750,3	11949454,73	0,0312
32	A	A'''	1070300,2	4000102,5	10074450,0	274049,0	12365731,5	2532591,5	274049,0	004224,5	73010250,00	0,1045
33			409517,5	1023635,5	3691734,5	595638,0	2310959,0	559406,5	595638,0	144457,4	1616706,69	0,0426
34			21626,4	528932,0	1807257,0	303930,0	149464,0	2885833,9	309900,0	746445,5	8354132,76	0,0220
35			1070300,2	4000102,5	10074450,0	274049,0	12365731,5	2532591,5	274049,0	004224,5	73010250,00	0,1045
36			87153,4	2178437,5	786456,5	277249,7	5388620,9	1894653,9	1276249,7	307407,5	3440442,25	0,0906

Figura 4. Cálculo de matriz de prioridades

Finalmente se obtuvo la matriz de prioridades W, que se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19.
Matriz de prioridades W

Variables	Peso de la variable
Hidrografía	0,2970
Pendiente	0,1946
Precipitación	0,1946
Suelo	0,1275
Temperatura	0,0906
Áreas verdes	0,0426
Densidad poblacional	0,0312

CONTINÚA 

Centro histórico	0,0220
------------------	--------

3.5.3 Cálculo de consistencia

Una vez determinados los pesos de cada variable fue necesario determinar si los juicios realizados fueron consistentes y si no existen incoherencias en los juicios dados, para lo cual se calculó la consistencia de la matriz pareada.

Primero se calculó la matriz de suma de columnas B que se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20.

Matriz de suma de columna B

	Hidrografía	Suelo	Densidad poblacional	Pendiente	Áreas verdes	Centro histórico	Precipitación	Temperatura
Suma	3,0179	9,6000	30,3333	5,3429	24,8333	39,0000	5,3429	13,8667

Posteriormente se utilizaron las fórmulas (1), (2) y (3) además de la Tabla 5 de los índices de consistencia aleatoria para el cálculo de relación de consistencia.

$$\lambda = 8.3167 \quad (1)$$

$$C = \frac{8.3167 - 8}{7} = 0.0452 \quad (2)$$

$$C = \frac{0.0452}{1.4} = 0.0323 \quad (3)$$

Al ser el tamaño de la matriz de ocho la relación de consistencia no debe superar el 10%.

$$3.23\% < 10\%$$

Lo que dio como resultado que la matriz cumple con consistencia en los juicios de la matriz pareada.

3.6 Generación de mapa de zonas adecuadas y no adecuadas para cementerios.

Una vez comprobado que los juicios tienen consistencia se procedió con la suma de las variables. Para este paso se sumó cada una de las variables en formato Raster previamente estandarizadas y multiplicándolas por su respectivo peso obtenido en el paso anterior. El proceso se realizó en el Software Arcgis 10.3 con la herramienta Raster Calculator, lo que generó una capa Raster identificando las diferentes zonas mediante colores: Rojo=No adecuado, Naranja=Ligeramente adecuado, Amarillo=Moderadamente adecuado, Verde claro=Muy adecuado y Verde oscuro= Completamente adecuado como se ve en la Figura 5. Cabe mencionar que los mapas presentados en el documento se muestran de forma ilustrativa, para visualizar a mayor detalle revisar los anexos 2, 4, 5, 6 y 7.

Una vez identificadas las zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas se determinaron los cementerios que estaban dentro de estas, dando un total de 32 cementerios (Ver anexo 2).

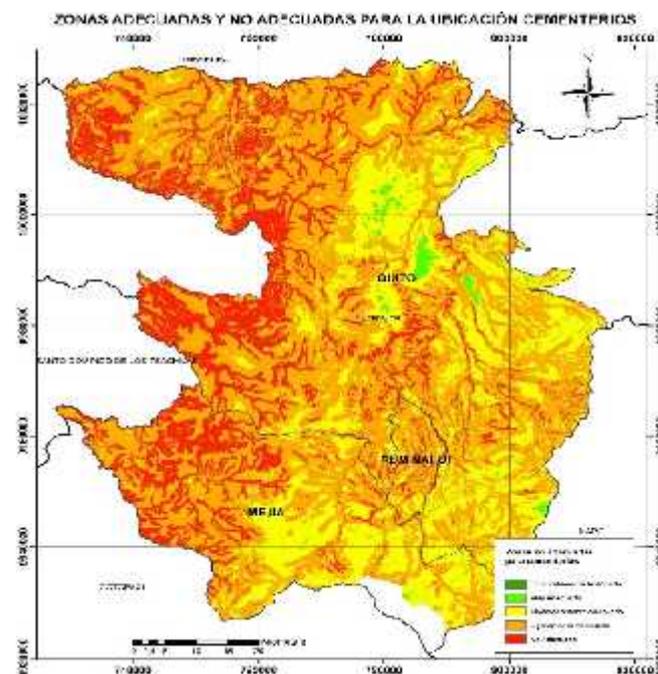


Figura 5. Mapa de zonas no adecuadas para cementerios

3.7 Selección de cementerios para la fase de campo

De los 32 cementerios previamente seleccionados, se filtraron tomando en cuenta cementerios de carácter público y que se encontraban a una distancia máxima de 200m de un cuerpo de agua. Reduciendo el número a 17 cementerios que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21.
Selección previa de cementerios para la fase de campo.

Cementerios	Cantón
Cutuglagua	Mejía
Uyumbicho	Mejía
Tambillo	Mejía
Amaguaña	Quito
Calderón, Judas Tadeo	Quito
Chillogallo	Quito
Conocoto	Quito
Cumbayá	Quito
Gualea	Quito
Nanegal	Quito
Pintag	Quito
Pomasqui	Quito
Tababela	Quito
Yaruquí	Quito
Zámbiza	Quito
Cotogchoa	Rumiñahui
Sangolquí	Rumiñahui

De los 17 cementerios se realizó una visita previa para determinar los sitios ambientalmente críticos.

- J Los cementerios tanto de Conocoto como de Uyumbicho se encuentran a una distancia superior a los 200m de los cuerpos de agua más cercanos, por lo que se los descartó.
- J Los cementerios de Pomasqui, Calderón y Cutglagua no disponen del servicio de entierro en suelo, por lo que se los descartó
- J Los cementerios de Zábiza y Cumbayá se encuentran en zonas de poca pluviosidad según la información encontrada en el mapa de precipitación del IEE, por lo que la probabilidad de infiltración es muy baja y también se procedió a descartarlo.
- J El cementerio de Tababela se ubica cerca del aeropuerto por lo que el trabajo en campo se dificulta, ya que se prohíbe el vuelo de UAV en la zona.

De esta manera los cementerios se redujeron a 9, para la ejecución de la fase de campo.

3.8 Generación de cartografía de cementerios seleccionados

3.8.1 Materiales

Los equipos y softwares utilizados se detallan en la Tabla 22.

Tabla 22.
Equipos y softwares

Equipos	Descripción
UAV	DJI Mavic Pro
GPS de precisión	Trimble R8 doble frecuencia
Cámara RGB	Cámara del UAV Mavic Pro

CONTINÚA 

Celular móvil	Huawei ANE-LX3
Computadora	HP I7 8va generación, 16GB RAM
Software	Descripción
ArcGis 10.3	Software comercial Gis, licencia estudiantil.
Pix4D capture	Aplicación de móvil gratuita, para realizar planes de vuelo y captura de imágenes.
Trimble DL	Aplicación de móvil gratuita para descarga de datos T02 del equipo GPS.
Pix4D Mapper	Software para georreferenciación de imágenes, procesamiento de ortofotos y MDS, licencia de prueba gratuita.
Global Mapper	Software para depuración de datos Lidar y generación de MDT, licencia de prueba gratuita.

3.8.2 Toma de puntos de control

Los puntos de control fotogramétrico se utilizaron para la georreferenciación de las imágenes tomadas con el UAV. Para este proceso se utilizó el equipo GPS de precisión Trimble R8 para la toma de un punto de control base por cementerio. Las coordenadas de estos puntos se obtuvieron por medio del método PPP, configurando el equipo GPS en modo estático 2 horas y 30 minutos para cada punto, con intervalos de 1s. Una vez realizado el post procesamiento y corrección de alturas respectivo se obtuvieron las coordenadas y precisiones en el sistema WGS84 UTM17Sur que se detalla en la Tabla 23.

Tabla 23.
Coordenadas de puntos de control base UTM 17S

Cementerio	Norte (m)	Este (m)	Altura ortométrica (m)	Precisión horizontal (m)	Precisión vertical (m)
Tambillo	9955136,655	772729,714	2811,489	±0,060	±0,061
Amaguaña	9958623,081	777469,978	2618,5	±0,046	±0,07
Chillogallo	9969585,570	771943,562	2879,138	±0,048	±0,048
Gualea	10012356,598	750475,278	1300,23	±0,053	±0,065
Nanegal	10015354,362	758614,514	1119,85	±0,072	±0,083
Pintag	9958460,436	792408,482	2879,88	±0,052	±0,04
Yaruquí	9982719,874	798492,571	2566,408	±0,053	±0,064
Cotogchoa	9959052,801	783701,773	2584,708	±0,050	±0,059
Sangolquí	9962874,749	783637,938	2512,809	±0,046	±0,045

Posterior a la toma de los puntos con el método PPP, se usó la coordenada obtenida para implementar el método RTK, dejando un equipo en la en el punto base y midiendo coordenadas en puntos distribuidos alrededor de cada cementerio. Los puntos obtenidos por cada cementerio fueron entre 3 y 5 (ver anexo 3) y se usaron para georreferenciar la ortofoto que se generó a partir de las imágenes que posteriormente fueron tomadas por el UAV.

3.8.3 Captura de imágenes con UAV

Al momento de capturar las imágenes con el UAV, se colocaron marcas sobre cada punto tomado para que sean visibles y se facilite la georreferenciación. Se utilizó el UAV Mavic Pro y la aplicación Pix4D Capture para realizar los planes de vuelo, configurar la altura, velocidad y traslapo de las imágenes como se observa en la Figura 6.

Para todos los cementerios la altura de vuelo fue 120m con un traslazo transversal y longitudinal del 80%, además se verificó para cada plan de vuelo que el área cubra los límites del cementerio y el cuerpo de agua más cercano.

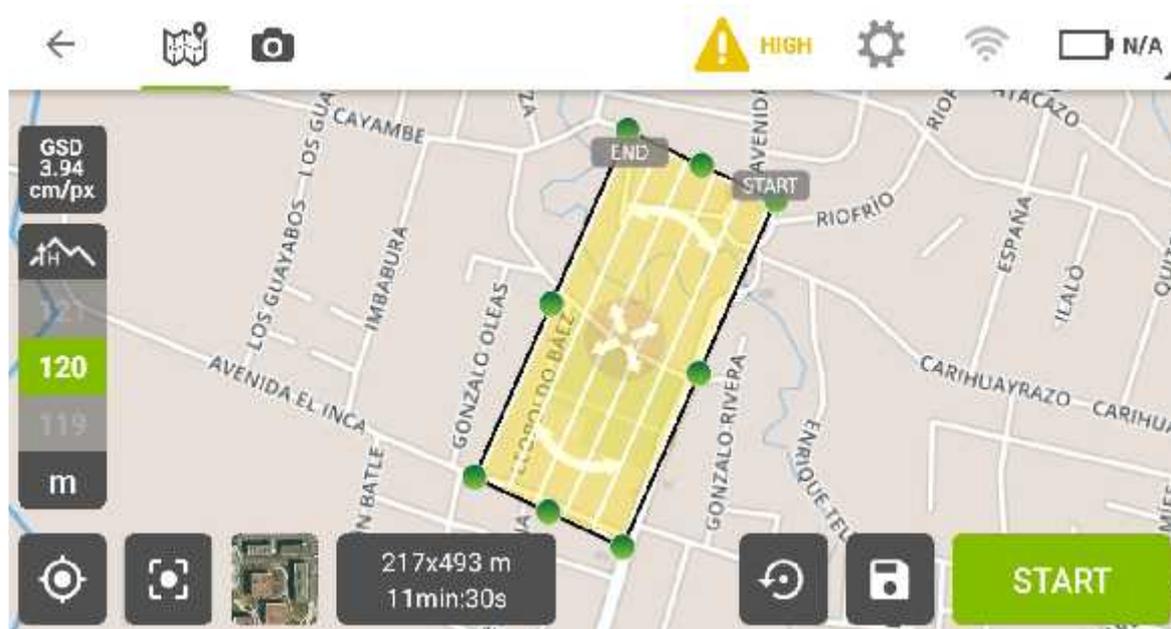


Figura 6. Visualización del plan de vuelo en Pix4D capture

3.8.4 Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las imágenes se realizó con el software Pix4D Mapper y los puntos de control del anexo 3 para la georreferenciación, con ello se generó un ortomosaico, un modelo digital de superficie (MDS) y un archivo de nube de punto (.las) por cada cementerio. En la Tabla 24 se presenta el resumen del procesamiento de imágenes.

Tabla 24.

Resumen de procesamiento de imágenes

Cementerio	# Imágenes procesadas	Área cubierta	Error medio cuadrático (RMS)
Tambillo	68	12,14 ha	0,042m
Amaguaña	102	17,75 ha	0,125m

CONTINÚA →

Chillogallo	40	6,85 ha	0,063m
Gualea	125	18,57 ha	0,084m
Nanegal	144	22,18 ha	0,081m
Pintag	95	16,04 ha	0,060m
Yaruquí	114	18,65 ha	0,085m
Cotogchoa	49	8,09 ha	0,047m
Sangolquí	146	19,19ha	0,059m
Total	883	139,43 ha	Promedio= 0,072m

3.8.5 Depuración de nube de puntos

Uno de los insumos que se obtienen con el procesado de las imágenes del UAV es el fichero de puntos (.las), el cual es una nube de puntos densificada que presenta información de altura de todo el terreno captado por las imágenes. Este se usó para eliminar la vegetación e infraestructura existente en cada zona de los cementerios y generar un modelo digital del terreno por cada uno. Para este proceso se utilizó el software Global Mapper, donde primero fue selecciona la herramienta de clasificación automática de suelo, que permitió filtrar los puntos que se encontraban a una altura baja sobre superficie de la nube de puntos.

Después de realizar la clasificación automática preliminar fue necesario verificar de forma manual con la herramienta Path Profile de generación de perfiles y eliminar o adicionar puntos que se puedan considerar como suelo a la clasificación, como se observa en la Figura 7.

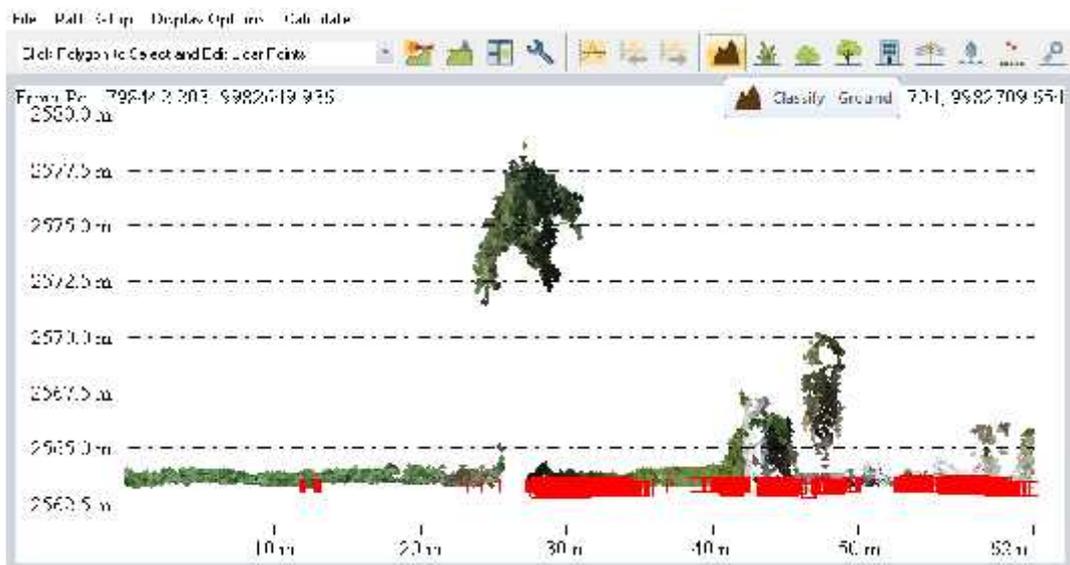


Figura 7. Depuración manual de nube de puntos

Finalmente, a partir de la nube de puntos depurada se procedió a elaborar el modelo digital del terreno (MDT), el mismo que tiene diferencias significativas con el modelo digital de superficie (MDS). Esto sucede ya que el MDS representa todas las alturas sobre la superficie incluyendo árboles y edificios, mientras que el MDT muestra solo la superficie del suelo.

En la Figura 8 se aprecia la diferencia entre el MDS de la izquierda con el MDT de la misma zona en la derecha.

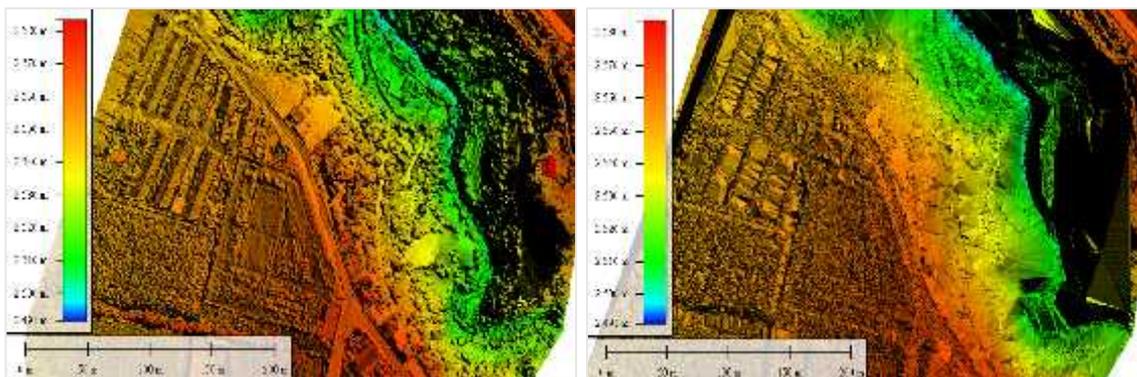


Figura 8. MDS y MDT del cementerio de Yaruquí

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Base de datos georreferenciada de información recopilada

La información obtenida del IGM, IEE, Sigtierras y Municipios se recopiló en una Geodatabase (GDB) con sistema de referencia WGS84 UTM17 Sur. Como se muestra en la Figura 9.

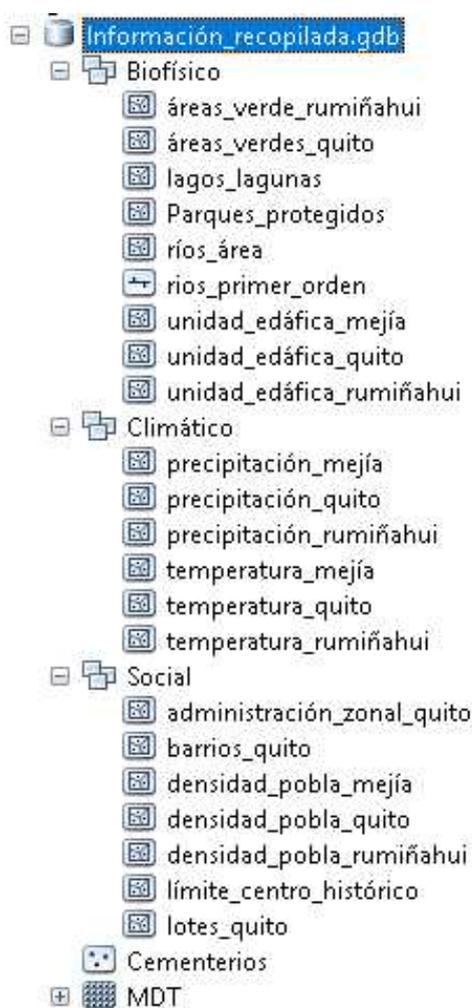


Figura 9. GDB de información recopilada

4.2 Estandarización de variables

La estandarización se hizo a partir de los valores establecidos en la Tabla 17, dando como resultado las Figuras desde la número 10 a la 17.

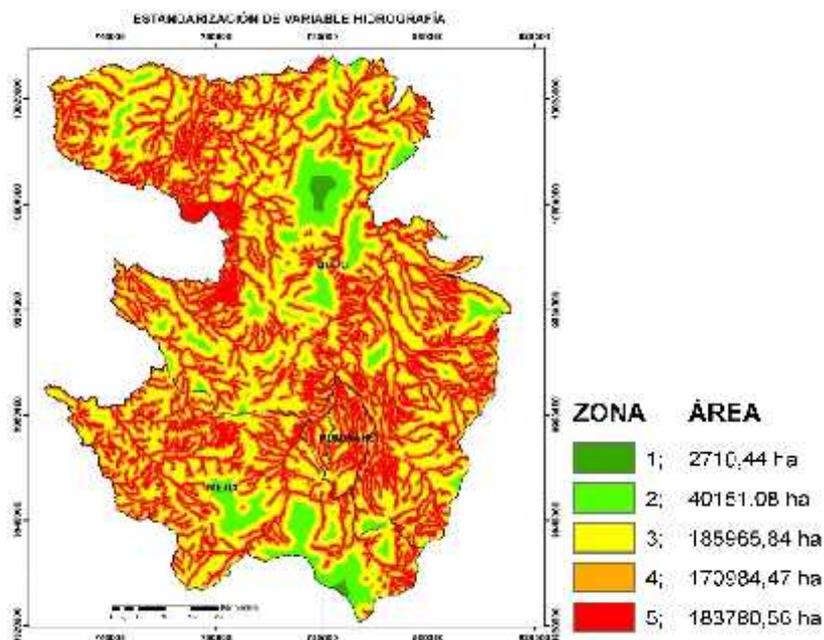


Figura 10. Estandarización hidrografía

Se observa en la Figura 10 que la zona 3 equivalente a distancia a cuerpos de agua entre 500m a 1500m, es la tiene mayor área seguida por la zona 5 distancia menor a 200m de cuerpos de agua.

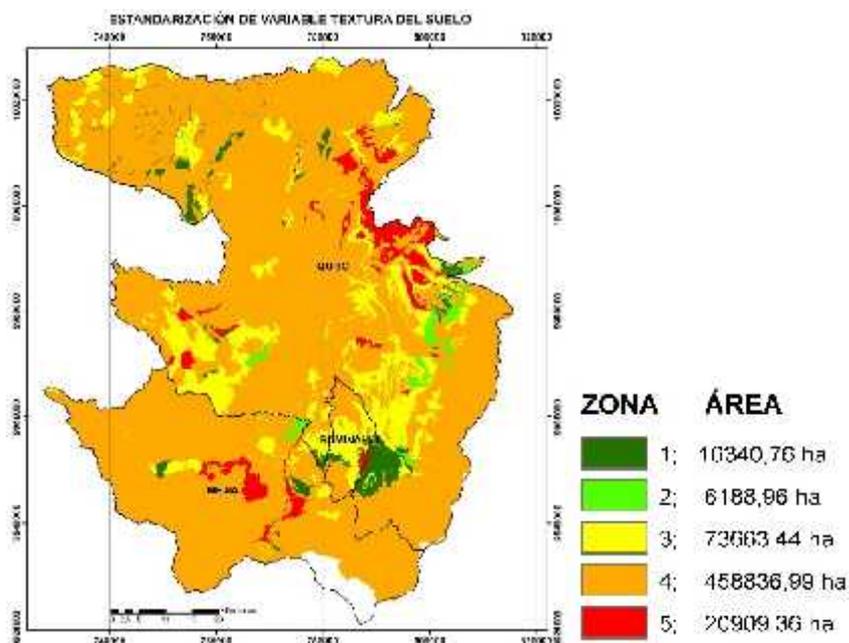


Figura 11. Estandarización textura de suelo

La zona 4 es el área predominante en los cantones de estudio, según se presenta en la Figura 11, lo que indica que la mayor parte de la textura del suelo es de tipo seco entre las clases Franco, Franco-arenoso y Franco-limoso.

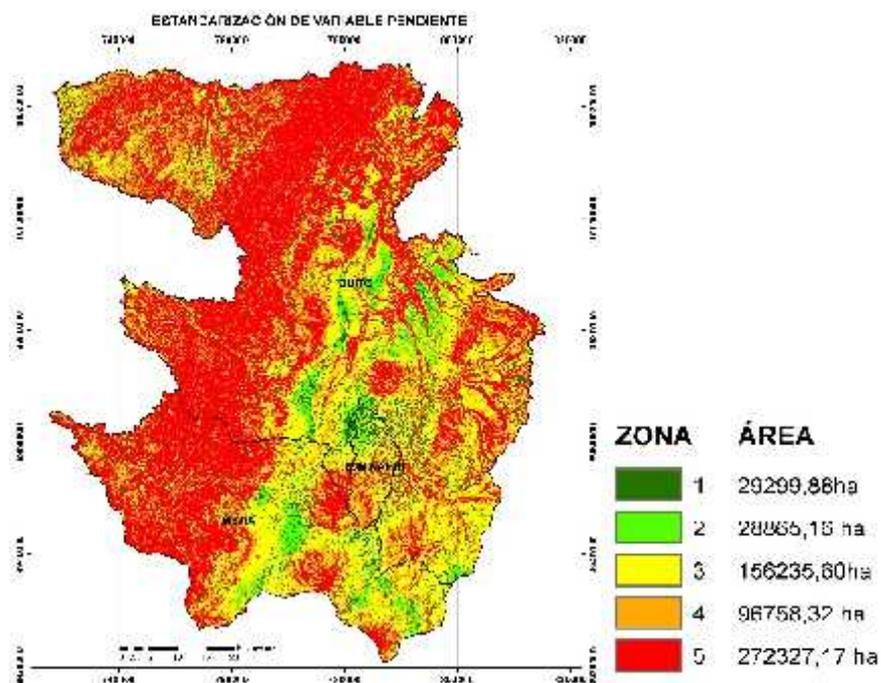


Figura 12. Estandarización pendiente

En la Figura 12 se puede apreciar que la zona con mayor área es la numero 5, equivalente a zonas de pendiente muy fuertes $>$ a 40%, seguida de la zona 3 de pendiente media entre 5% y 25%. Esto debido principalmente a las zonas montañosas de la cordillera de los Andes.

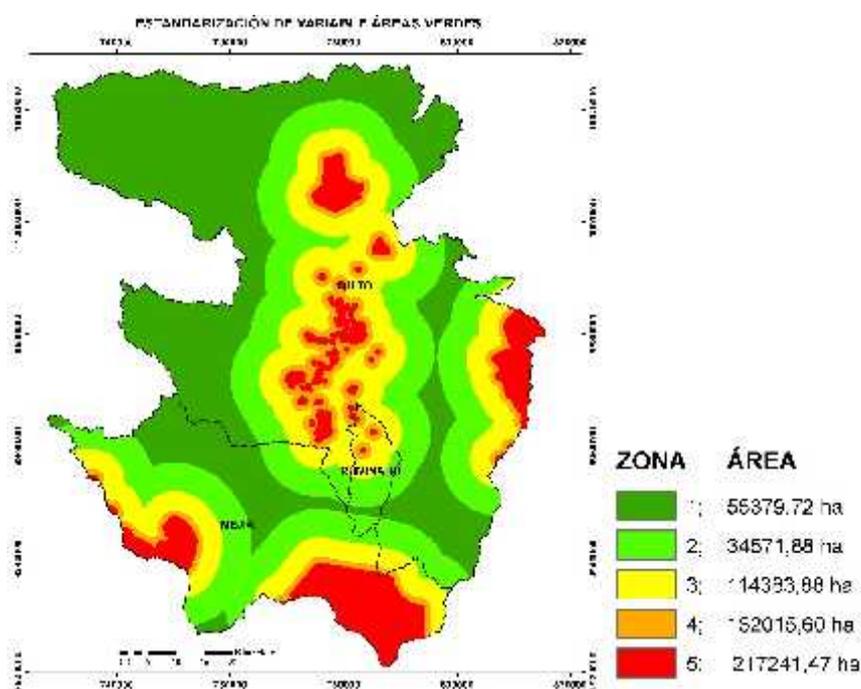


Figura 13. Estandarización áreas verdes

La Figura 13 muestra la zona 3 como la de mayor extensión, lo que quiere decir que la distancia hacia áreas verdes es de [3 - 10]km y es considerado zona moderadamente adecuada.

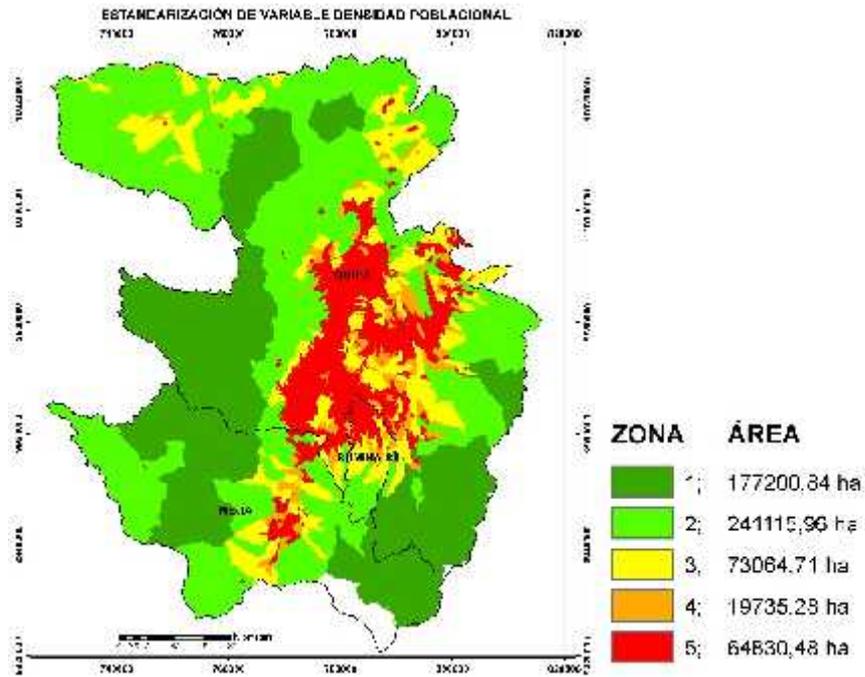


Figura 14. Estandarización densidad poblacional

La zona predominante es la número 2, como se observa en la Figura 14, equivalente a baja densidad poblacional entre 3 a 20 habitantes por km^2 , lo que quiere decir zonas muy adecuadas.

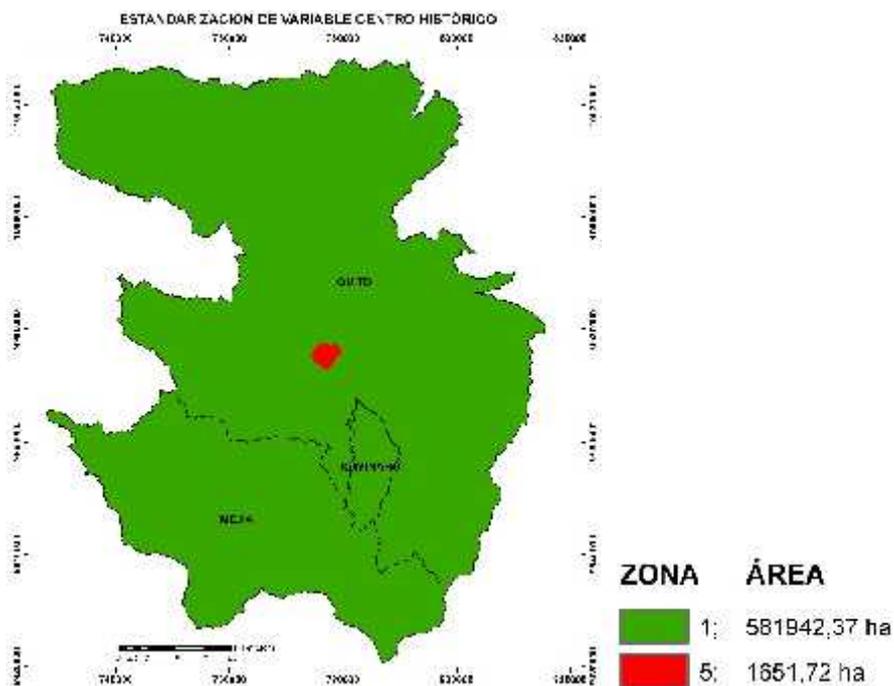


Figura 15. Estandarización centro histórico

En la Figura 15 se presenta que la mayor parte de la zona de estudio se encuentra fuera del centro histórico.

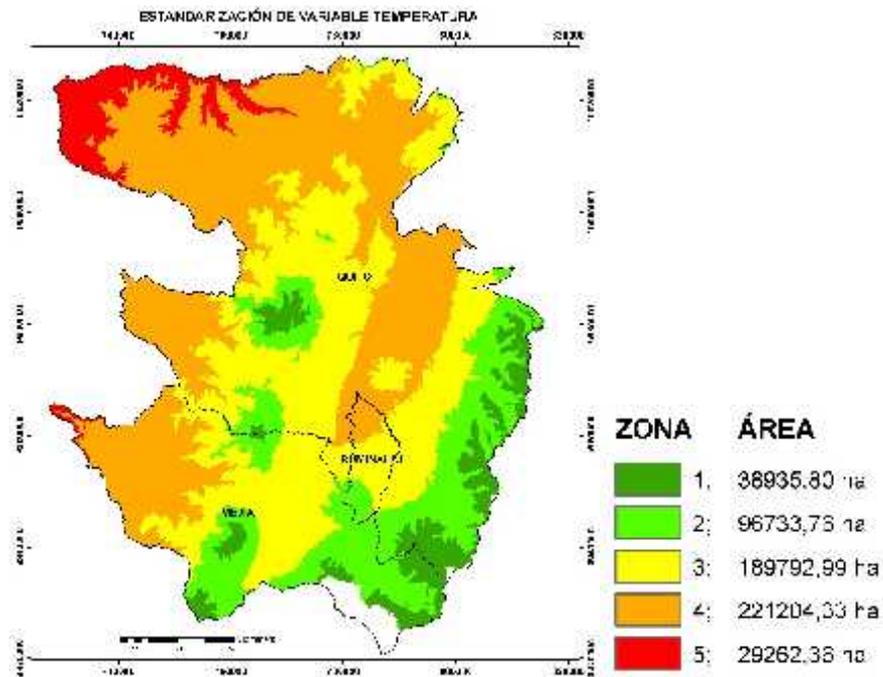


Figura 16. Estandarización temperatura

La mayor parte de las zonas de estudio tienen una temperatura entre $[15 - 20] ^\circ\text{C}$, encontrándose enmarcadas en la zona 4 tal como muestra en la Figura 16.

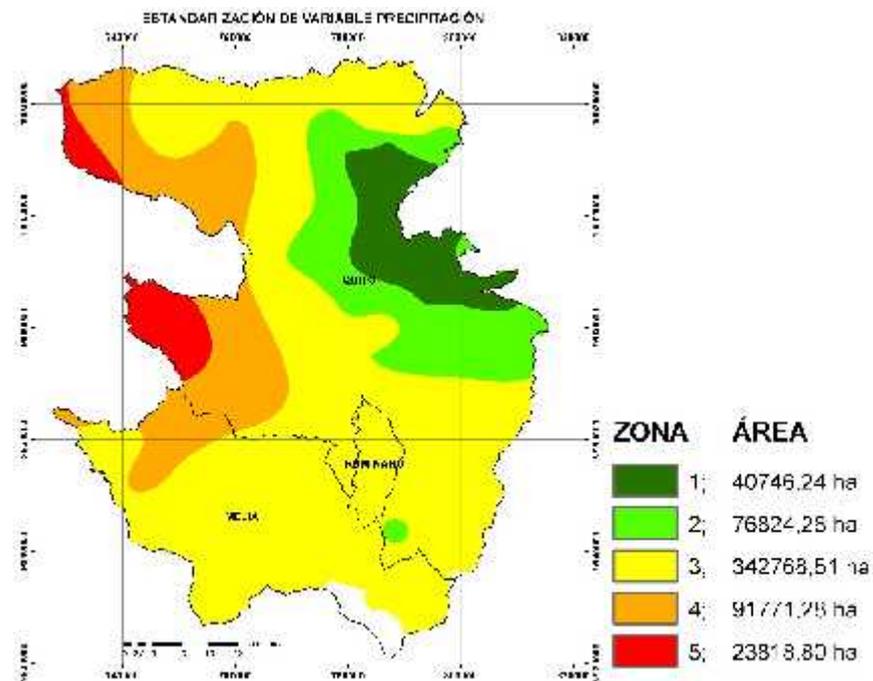


Figura 17. Estandarización precipitación

En la Figura 17 se observa que la precipitación predominante se encuentra dentro de la zona 3, con un rango de $[1000 - 2000]$ mm por año.

4.3 Zonas adecuadas y no adecuadas para la ubicación de cementerios

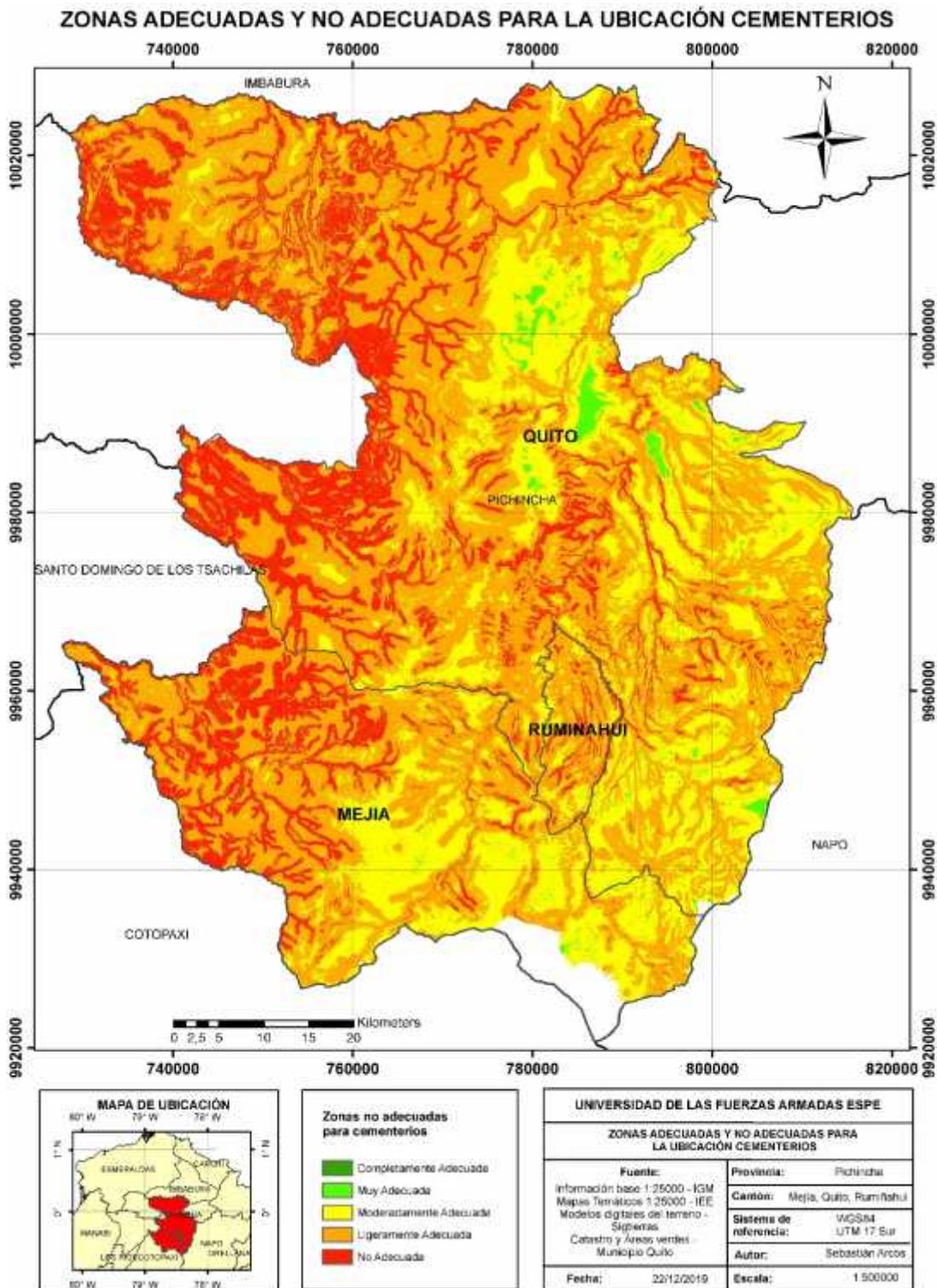


Figura 18. Zonas adecuadas y no adecuadas para cementerios

En la Figura 18 se identifica una corta extensión de zonas consideradas como muy adecuadas y una gran extensión de zonas moderadamente adecuadas para la ubicación de cementerios. No existen zonas completamente adecuadas para la localización de cementerios.

En la Figura 19 se observa la ubicación de los 32 cementerios filtrados, en las diferentes zonas reconocidas. Todos los cementerios se situaron en zonas no adecuadas y ligeramente adecuadas.

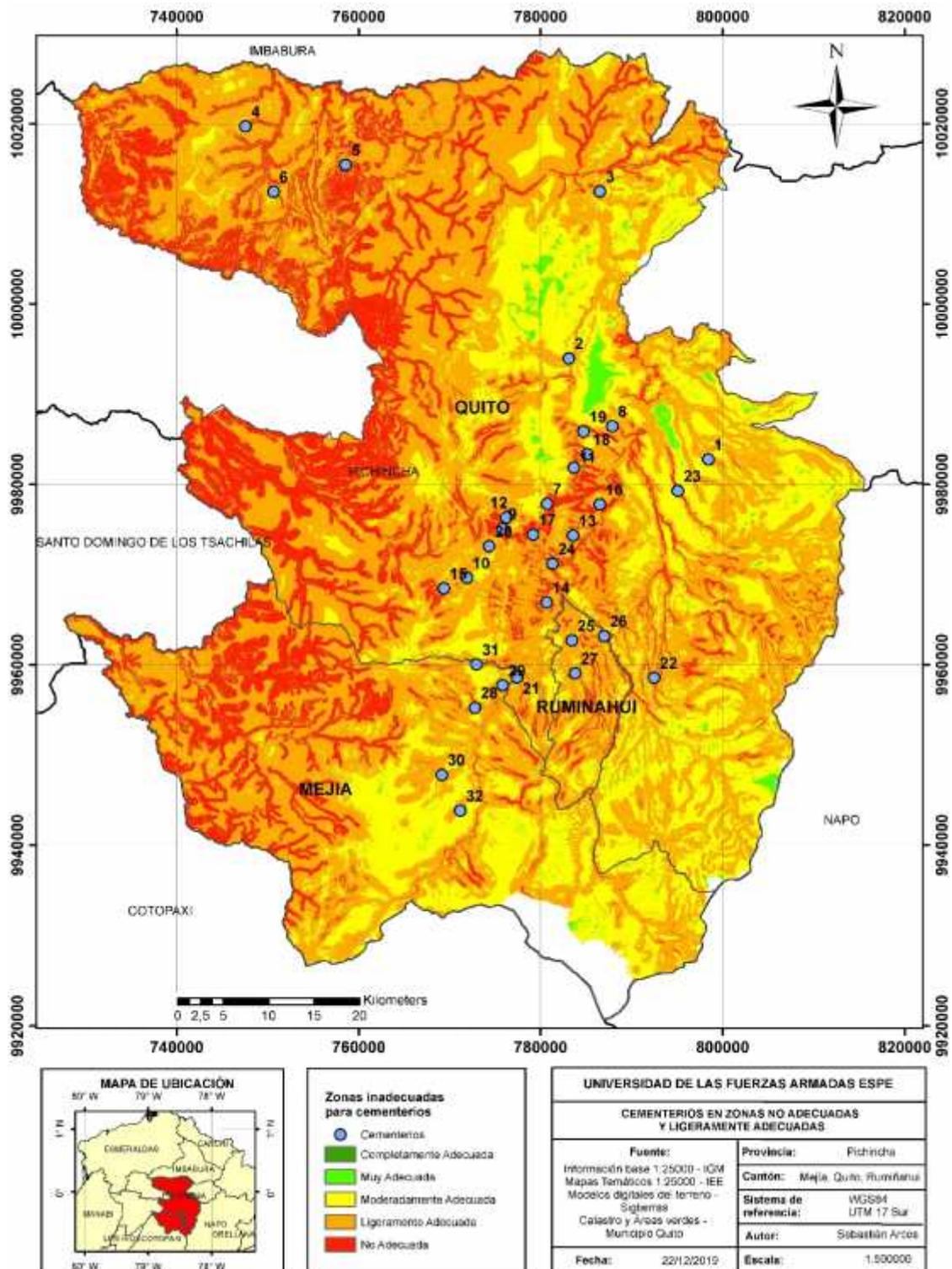


Figura 19. Ubicación geográfica de los cementerios estudiados

4.4 Cementerios seleccionados para la fase de campo

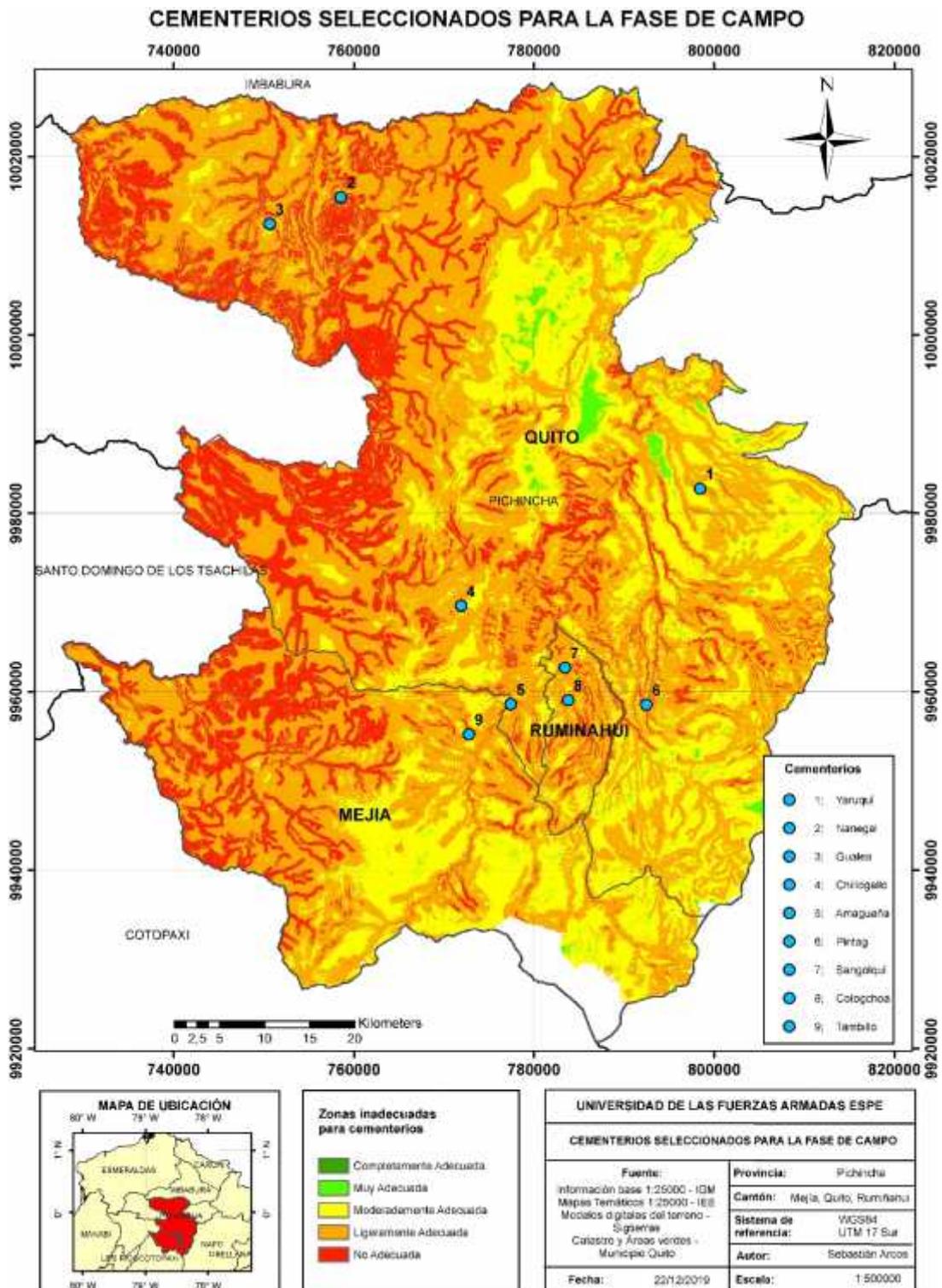


Figura 20. Cementerios seleccionados para la fase de campo

En la Figura 20 se muestran los 9 cementerios seleccionados al encontrarse a menos de 200m del cuerpo de agua más cercano y las circunstancias particulares explicadas en la metodología.

4.5 Línea base de cementerios seleccionados para la fase de campo

La línea base se realizó a partir de la información recopilada desde IGM, IEE, municipio del Distrito Metropolitano de Quito y Sigtierras para cada uno de los 9 cementerios seleccionados para realizar la cartografía a detalle.

4.5.1 Amaguaña



Figura 21. Cementerio de Amaguaña

El cementerio de Amaguaña (ver Figura 21) se ubica en el cantón Quito, parroquia de Amaguaña, entre las calles Federico González Suarez y Antonio José de Sucre, a dos cuadras en dirección noroeste del parque San Pedro de Amaguaña.

Presenta las siguientes características:

-) Servicios de nichos en pared y entierro en suelo.
-) Caminos adoquinados.
-) Distancia inferior a 200m en horizontal del Río San Pedro.
-) Textura de suelo tipo franco considerado de tipo ligeramente adecuado.
-) Pendiente sobre la que se ubica es de 2% a 5% calificada como una pendiente suave.
-) Distancia entre 1,5km a 5km de áreas verdes entendiéndose como zona moderadamente adecuada.

Los datos climáticos presentes son:

-)] Temperatura media anual entre 15 °C y 16 °C, al ser una temperatura elevada se considera como zona ligeramente adecuada.
-)] La precipitación media anual es entre 1400mm y 1500mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

En cuanto a datos poblacionales se encuentra en una zona con más de 161 Hab/km² considerada de alto nivel poblacional, además está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.2 Chillogallo



Figura 22. Cementerio de Chillogallo

El cementerio de Chillogallo (ver Figura 22) se ubica en el cantón Quito, parroquia de Chillogallo, entre las calles Manuel Abad y Marcos Escorza, a tres cuadras en dirección noroeste de la antigua Iglesia de Chillogallo.

Presenta las siguientes características:

-)] Servicios de nichos en pared y un área más pequeña para entierro en suelo.
-)] Caminos adoquinados.
-)] Distancia inferior a los 200m en horizontal del Río Grande.

-) Textura de suelo tipo franco-arenoso considerado de tipo ligeramente adecuado.
-) Pendiente en el rango de 2% a 5% calificada como una pendiente suave.
-) Distancia entre 0,5km a 1,5km de áreas verdes entendiéndose como zona ligeramente adecuada.

Los datos climáticos presentes son:

-) Temperatura media anual entre 12 °C y 13 °C, al ser una temperatura media se considera como zona moderadamente adecuada.
-) La precipitación media anual está entre 1700mm y 1800mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

Sus datos poblacionales la ubican en una zona con más de 161 Hab/km² considerada de alto nivel poblacional, además está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.3 Cotogchoa



Figura 23. Cementerio de Cotogchoa

El cementerio de Cotogchoa (ver Figura 23) se ubica en el cantón Rumiñahui, parroquia de Cotogchoa, frente a la calle San Agustín, en dirección sureste del parque central de Cotogchoa.

Presenta las siguientes características:

-) Solo posee tumbas en suelo y se encuentra actualmente fuera de servicio, este cuenta con poco más de 10 tumbas en todo el cementerio.
-) Solo posee un camino adoquinado.
-) Distancia inferior a los 200m en horizontal de un cuerpo de agua natural de la zona,
-) Textura de suelo tipo franco considerado de tipo ligeramente adecuado
-) Pendiente sobre la que se ubica de 5% a 25% calificada como una pendiente media.
-) Distancia entre 0,5km a 1,5km de áreas verdes entendiéndose como zona ligeramente adecuada.

Los datos climáticos presentes son:

-) Temperatura media anual entre 15 °C y 16 °C, al ser una temperatura alta se considera como zona ligeramente adecuada.
-) La precipitación media anual es de 1700mm a 1800mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

Los datos poblacionales se encuentran en una zona con densidad mayor a 161 Hab/km² considerado alto nivel poblacional, y se ubica sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.4 Gualea



Figura 24. Cementerio de Gualea

El cementerio de Gualea (ver Figura 24) se ubica en el cantón Quito, parroquia de Gualea, frente a la vía Pacto, a dos cuadras en dirección noroeste del parque central de Gualea.

Presenta las siguientes características:

-) Solo servicio de tumbas en suelo.
-) No posee cerramiento definido.
-) Distancia inferior a los 200m en horizontal de la Quebrada Alcabala.
-) Textura de suelo tipo franco-arenoso considerado de tipo ligeramente adecuado.
-) Pendiente sobre la que se ubica de 25% a 40% calificada como una pendiente fuerte.
-) Distancia mayor a 10km de áreas verdes entendiéndose como zona completamente adecuada en relación a esta variable.

Los datos climáticos son:

-) Temperatura media anual entre 19 °C y 20 °C, al ser una temperatura alta se considera como zona ligeramente adecuada.
-) La precipitación media anual es de 1700mm a 1800mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

Los datos poblacionales son más de 161 Hab/km² considerado alto nivel poblacional, y está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.5 Nanegal

El cementerio de Nanegal (ver Figura 25) se ubica en el cantón Quito, parroquia de Nanegal, entre las calles Cumandá y calle A, a dos cuadras en dirección noroeste del parque central de Nanegal.



Figura25. Cementerio de Nanegal

Presenta las siguientes características:

- J Solo servicio de entierro en suelo y está actualmente en funcionamiento.
- J El cerramiento del lugar cubre únicamente la entrada y no se encuentra adoquinado ni asfaltado.
- J Distancia inferior a los 200m en horizontal del Río Alambí.
- J Textura de suelo tipo franco-arenoso considerado de tipo ligeramente adecuado.
- J Pendiente sobre la que se ubica es de 25% a 40% calificada como una pendiente fuerte.
- J Distancia mayor a 10km de áreas verdes entendiéndose como zona completamente adecuada.

Los datos climáticos son:

- J Temperatura media anual entre 20 °C y 21 °C, al ser una temperatura muy alta se considera como zona no adecuada.
- J La precipitación media anual está entre 2000mm y 2100mm entendiéndose como zona ligeramente adecuada.

Sus datos poblacionales la ubican en una zona con más de 161 Hab/km² considerada de alto nivel poblacional, además está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.6 Pintag



Figura 26. Cementerio de Pintag

El cementerio de Pintag (ver Figura 26) se ubica en el cantón Quito, parroquia de Pintag, en la calle Sincholagua, a una cuadra en dirección sur del estadio municipal de Pintag.

Presenta las siguientes características:

-) Servicios de tumbas en suelo y nichos en pared.
-) Cerramiento no cubre el límite trasero.
-) Distancia inferior a los 200m en horizontal de la Quebrada Calihuaycu.
-) Textura de suelo tipo franco-limoso considerado de tipo ligeramente adecuado.
-) Pendiente sobre la que se ubica es de 5% a 25% calificada como una pendiente media.
-) Distancia entre 5km a 10km de áreas verdes entendiéndose como zona muy adecuada.

Los datos climáticos son:

-) Temperatura media anual entre 13 °C y 14 °C, al ser una temperatura media se considera como zona moderadamente adecuada.

- J La precipitación media anual es de 1600mm a 1700mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

Los datos poblacionales se encuentran en una zona con densidad mayor a 161 Hab/km² considerado alto nivel poblacional, y se ubica sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.7 Sangolquí



Figura 27. Cementerio de Sangolquí

El cementerio de Sangolquí (ver Figura 27) se ubica en el cantón Rumiñahui, parroquia de Sangolquí, entre la avenida General Enríquez y calle Llanganates.

Presenta las siguientes características:

- J Servicios de nicho en pared y tumbas en suelo.
- J Caminos adoquinados y el cerramiento cubre todo el límite del cementerio.
- J Distancia inferior a los 200m en horizontal del Río San Nicolás.
- J Textura de suelo tipo franco considerado de tipo ligeramente adecuado.
- J Pendiente sobre la que se ubica es de 5% a 25% calificada como una pendiente media.

-) Distancia entre 1,5km a 5km de áreas verdes entendiéndose como zona moderadamente adecuada en relación a esta variable.

Los datos climáticos son:

-) Temperatura media anual entre 15 °C y 16 °C, al ser una temperatura alta se considera como zona ligeramente adecuada.
-) La precipitación media anual es de 1700mm a 1800mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

Los datos poblacionales son más de 161 Hab/km² considerado alto nivel poblacional, y está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.8 Tambillo

El cementerio de Tambillo (ver Figura 28) se ubica en el cantón Mejía, parroquia de Tambillo, en la calle Carlos Brito a una cuadra de la Avenida Pedro Vicente Maldonado.



Figura 28. Cementerio de Tambillo

Presenta las siguientes características:

-) Servicios de nicho en pared y tumbas en suelo.
-) Caminos adoquinados.
-) Distancia inferior a los 200m en horizontal de la Quebrada Tambilloacu.

-)] Textura de suelo tipo franco-arenoso considerado de tipo ligeramente adecuado.
-)] Pendiente en el rango de 5% a 25% calificada como una pendiente media.
-)] Distancia entre 5km a 10km de áreas verdes entendiéndose como zona muy adecuada.

Los datos climáticos son:

-)] Temperatura media anual entre 13 °C a 14 °C, al ser una temperatura media se considera como zona moderadamente adecuada.
-)] La precipitación media anual es entre 1200mm y 1300mm entendiéndose como moderadamente adecuada.

En cuanto a datos poblacionales se encuentra en una zona con más de 161 Hab/km² considerada de alto nivel poblacional, además está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.9 Yaruquí



Figura 29. Cementerio de Yaruquí

El cementerio de Yaruquí (ver Figura 29) se ubica en el cantón Quito, parroquia de Yaruquí, en la intersección de la calle Bolívar y pasaje Bolívar.

Presenta las siguientes características:

-) Servicios de tumbas en suelo y nichos en pared.
-) Cerramiento que cubre todo el límite del cementerio.
-) Distancia inferior a los 200m en horizontal de la Quebrada El Calvario
-) Textura de suelo tipo arenoso considerado de tipo no adecuado.
-) Pendiente de 5% a 25% calificada como una pendiente media.
-) Distancia mayor a 10km de áreas verdes entendiéndose como zona completamente adecuada.

Los datos climáticos son:

-) Temperatura media anual entre 15 °C y 16 °C, al ser una temperatura alta se considera como zona ligeramente adecuada.
-) La precipitación media anual está entre 700mm y 800mm entendiéndose como zona muy adecuada.

Sus datos poblacionales la ubican en una zona con más de 161 Hab/km² considerada de alto nivel poblacional, además está sobre el área de no afectación al Centro Histórico.

4.5.10 Análisis de datos de la línea base

De acuerdo a lo descrito en el punto 4.6.9, se presenta la Tabla 25 que resume las características de cada cementerio, permitiendo establecer la línea base de estudio

Tabla 25.

Resumen de Línea Base a partir de información 1:25000

Cementerios	Distancia a ríos	Textura del suelo	Pendiente (%)	Distancia a áreas verdes	Temperatura media anual (°C)	Precipitación media anual (mm)	Centro histórico	Densidad poblacional (hab/km ²)
Amaguaña	0-200	Franco	2-5	1,5 a 5km	15-16	1400-1500	Fuera	muy alta (más 161)

CONTINÚA 

Chillogallo	0-200	Franco-arenoso	2-5	0,5 a 1,5km	12-13	1700-1800	Fuera	muy alta (más 161)
Cotogchoa	0-200	Franco	5-25	0,5 a 1,5km	15-16	1700-1800	Fuera	muy alta (más 161)
Gualea	0-200	Franco-arenoso	25-40	Mayor a 10km	19-20	1700-1800	Fuera	muy alta (más 161)
Nanegal	0-200	Franco-arenoso	25-40	Mayor a 10km	20-21	2000-2100	Fuera	muy alta (mas 161)
Pintag	0-200	Franco-limoso	5-25	5 a 10km	13-14	1600-1700	Fuera	muy alta (mas 161)
Sangolquí	0-200	Franco	5-25	1,5 a 5km	15-16	1700-1800	Fuera	muy alta (mas 161)
Tambillo	0-200	Franco-arenoso	5-25	5 a 10km	13-14	1200-1300	Fuera	muy alta (más 161)
Yaruquí	0-200	Arena	5-25	Mayor a 10km	15-16	700-800	Fuera	muy alta (más 161)

Los datos de distancia a cuerpos de agua cercanos y pendientes se analizarán en la Tabla 26, como producto de información generada de la fase de campo.

Los datos de textura de suelos en su mayoría se consideran secos por tener una textura franca, franco arenoso y franco limoso, así por ejemplo, el cementerio de Yaruquí contiene una textura tipo arenosa, considerada como muy seco. Este factor es importante en cuanto a infiltración de contaminantes en el suelo y según lo explican Canning & Szmigin en su estudio *Death and Disposal: The universal, environmental dilemma del 2010*, este tipo de suelo es más propenso a permitir el paso de compuestos y fluidos a la matriz del suelo.

Todos los cementerios se encuentran a una distancia superior a los 500m de áreas verdes, encontrándose fuera del área influencia directa según los estudios realizados por Morales & Silva del 2006 y Bozurto del 2014, por lo que no presentan un elevado riesgo de contaminación.

Los datos de población fueron iguales para los 9 cementerios seleccionados, ubicándose en zonas con población mayor a 161 hab/km² lo que da a entender que se encuentran principalmente en zonas con alta densidad poblacional. Ningún cementerio presenta interferencia con el centro histórico ya que están fuera del área de afectación del mismo.

Sobre los datos de temperatura se puede apreciar que las temperaturas más bajas se presentan en Chillogallo y Tambillo con temperaturas de 12-13 °C y 13-14 °C respectivamente. Las temperaturas más altas, en un rango de 19 °C a 21 °C se encuentran en las zonas de Gualea y Nanegal lo que permite una descomposición más acelerada de los cuerpos, ya que al aumentar la temperatura también aumenta la proliferación de bacterias según el estudio realizado por Zhou & Byard del 2011.

La precipitación de los cementerios de Chillogallo, Cotogchoa, Gualea y Sangolquí es de 1700-1800mm, considerándose una precipitación moderadamente adecuada, mientras que el cementerio de Nanegal tiene una precipitación de 2000-2100mm siendo esta la mayor precipitación. Mientras mayor es la precipitación se presenta un mayor riesgo de infiltración de contaminantes según la investigación de Archer en 2004, ya que a la descomposición se vuelve más acelerada.

4.6 Cartografía generada escala 1:1000

Una vez realizados los vuelos con UAV de cada cementerio seleccionado y después de procesar las respectivas imágenes, se generó la información cartográfica de Ortomosaicos, Modelos digitales de superficie, Modelos digitales del Terreno y Mapas de los cementerios escala 1:1000 como se observa ilustrativamente en la Figuras 30, 31, 32 y 33.

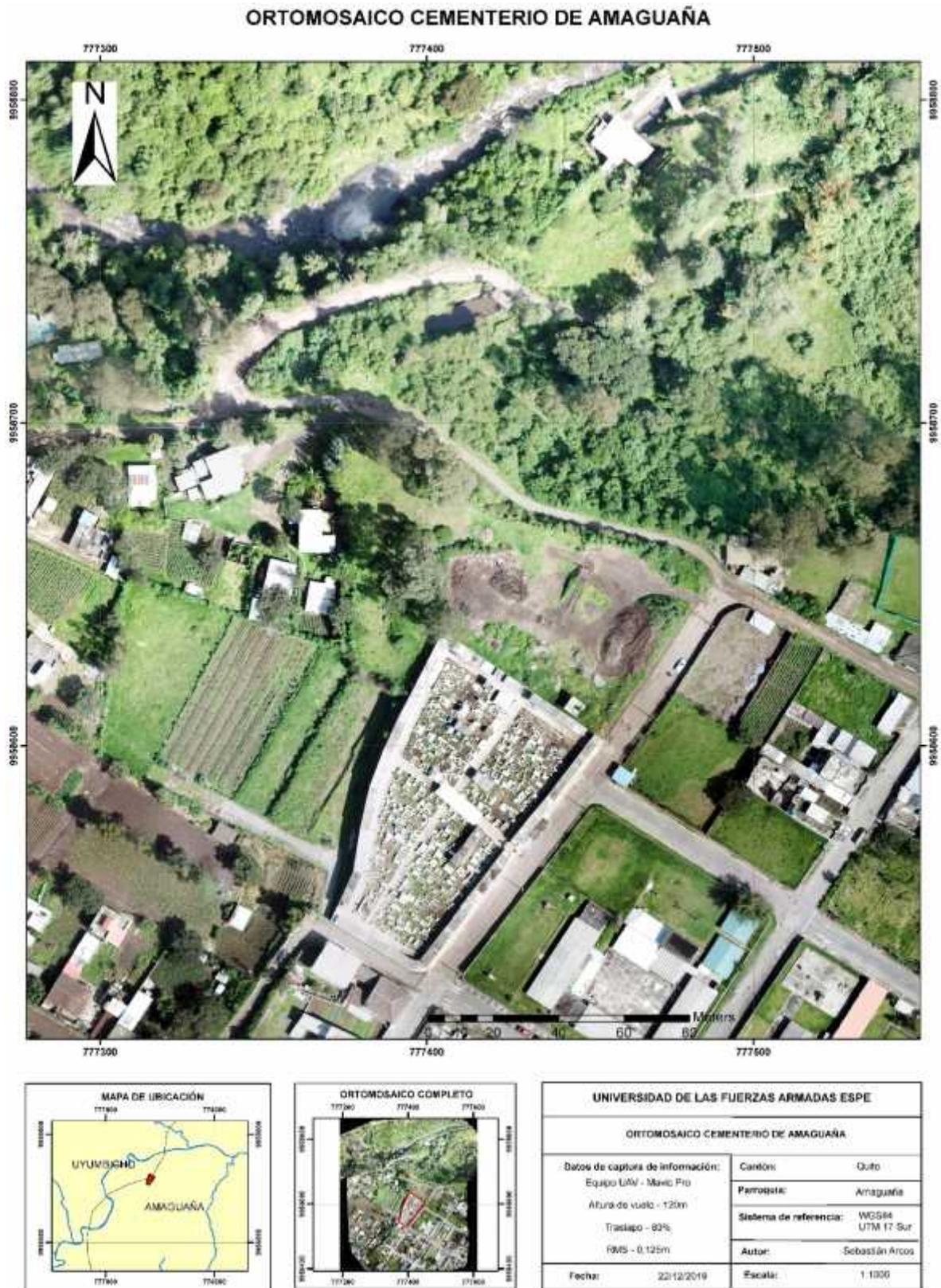


Figura 30. Ortomosaico de cementerio y cuerpo de agua

Los ortomosaicos de cada cementerio se pueden revisar en el anexo 4.

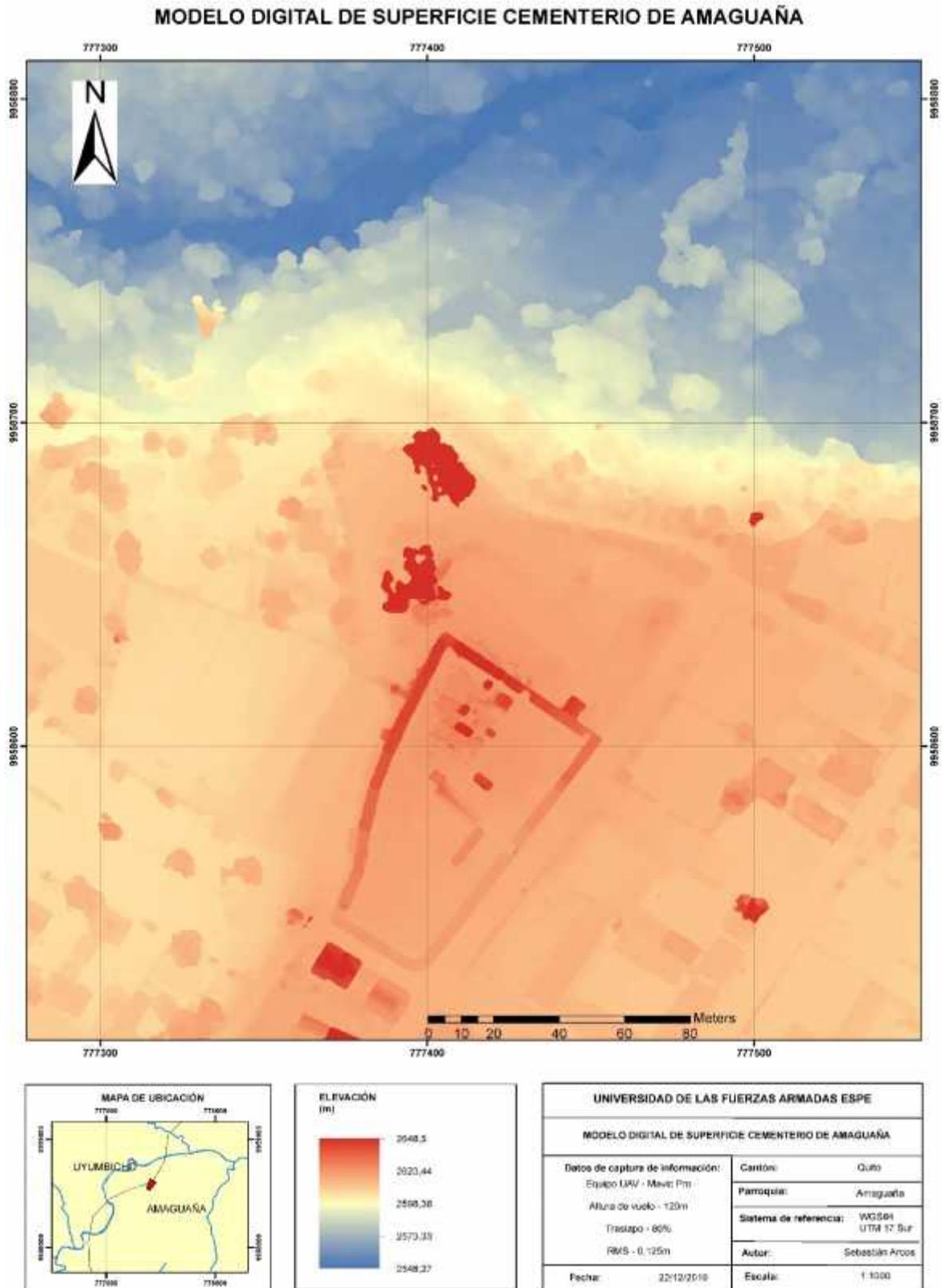


Figura 31. MDS de cementerio y cuerpo de agua

Los modelos digitales de superficie de cada cementerio se pueden revisar en el anexo 5.

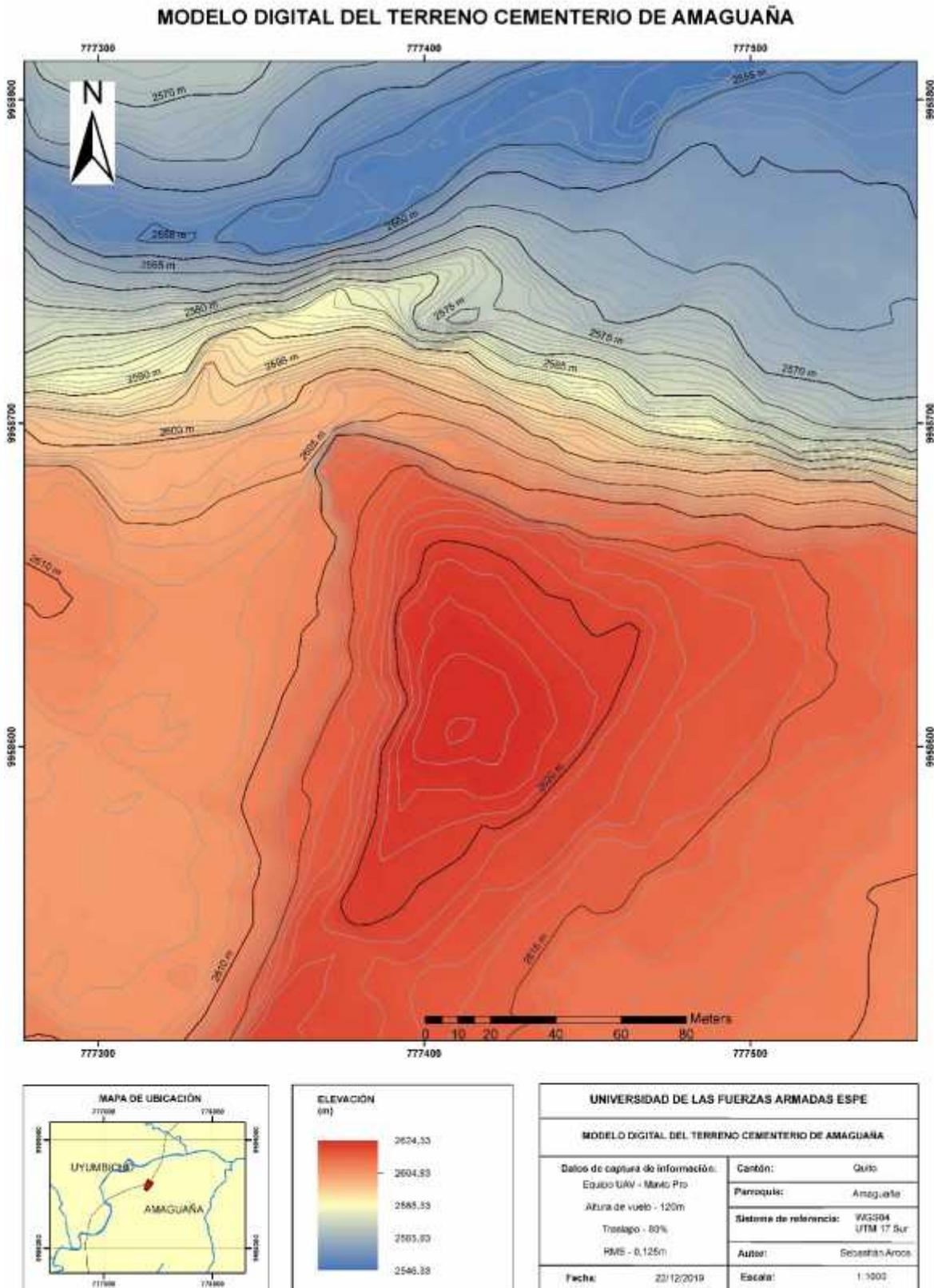


Figura 32. MDT de cementerio y cuerpo de agua

Los modelos digitales de elevación de cada cementerio se presentan en el anexo 6.

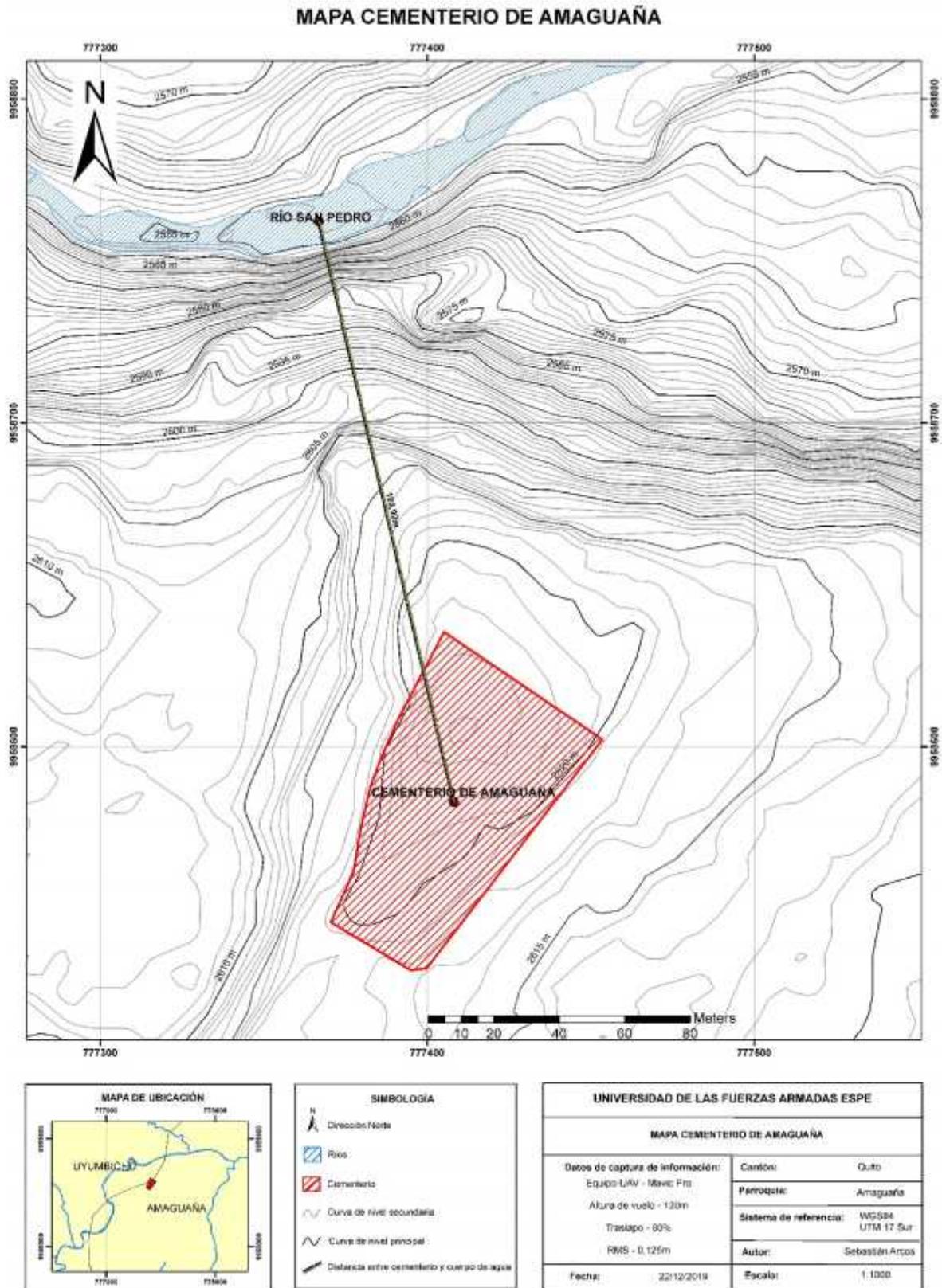


Figura 33. Mapa de distancia entre cementerio y cuerpo de agua

Los mapas de cada cementerio se observan en el anexo 7.

4.7 Tabla de distancias y pendientes de cementerios a cuerpos de agua

Los resultados generados a partir del vuelo de UAV obtenidos en cuanto a pendiente y distancia entre cementerios y cuerpos de agua de la cartografía realizada son los que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26.

Distancias y pendiente entre cementerio y el cuerpo de agua más cercano fase campo.

Cementerios	Cuerpos de agua más cercanos	Diferencia de altura (m)	Distancia horizontal (m)	Distancia sobre el terreno (m)	Distancia de pendiente (m)	Pendiente grados (°)	Pendiente porcentaje (%)
Amaguaña	Río San Pedro	67,857	183,92	225,25	196,04	20,25	36,89
Chillogallo	Río Grande	10,931	48,863	63,504	50,07	12,61	22,37
Cotogchoa	Curso de agua natural	6,31	43,399	45,762	43,86	8,27	14,54
Gualea	Quebrada Alcabala	9,348	59,132	63,384	59,87	8,98	15,81
Nanegal	Río Alambí	51,312	142,33	163,06	151,30	19,82	36,05
Pintag	Quebrada Calihuaycu	57,00	143,35	160,88	154,27	21,69	39,76
Sangolquí	Río San Nicolas	16,66	153,3	157,12	154,20	6,2	10,87
Tambillo	Quebrada Tambilloyacu	30,99	163,76	173,25	166,67	10,71	18,92
Yaruquí	Quebrada El Calvario	52,65	154,15	174,33	162,89	18,86	34,16

Como se puede observar en la Tabla 26, los cementerios con la menor distancia a los cuerpos de agua son Chillogallo, Cotogchoa y Gualea con valores de 48,8m, 53,4m y 59,1m

respectivamente, lo que convierte a estos cementerios en potenciales focos de contaminación de los cuerpos de agua a los cuales se encuentran cerca.

Por otro lado, los cementerios con mayor porcentaje de pendiente son Pintag, Amaguaña, Nanegal y Yaruquí, con valores que oscilan entre 34 a 40%, lo que hace que estos cementerios se vuelvan críticos dado que la variable pendiente influye de forma directa en la migración y transporte de los contaminantes.

Cabe mencionar que todos los cementerios elegidos tienen una distancia menor a los 200m del cuerpo de agua más cercano, lo que incumple la normativa presentada en el acuerdo ministerial 3523 del año 2013. Si se toma en cuenta la distancia sobre el terreno, el único cementerio que se encontraría de acuerdo a la normativa sería el de Amaguaña ya que su distancia es de 225,25m, aun así, encontrándose cerca del límite permitido.

En el estudio de Evaluación preventiva espacial por la instalación de un cementerio parque realizado por Peluso & Vives en el 2006, establecen en su análisis de riesgo que el cementerio investigado al cabo de 20 años llega a tener una afectación hasta los 400m de los límites del predio. Al comparar este valor con las distancias obtenidas se puede observar que se encuentran dentro del rango de afectación y a lo largo de los años estos cementerios pueden llegar a ser riesgosos para su entorno.

Entre los cementerios estudiados aquellos con el mayor valor de pendiente son los que tienen la mayor probabilidad de distribución de contaminantes por efecto de escorrentía, aun así los cementerios que tienen las pendientes más bajas como el de Sangolquí, Chillogallo, Gualea y Tambillo con un rango entre 10% y 18% pueden también ser focos de contaminación esto según el estudio realizado por Li, Wang y Tang en el año 2006 ya que en estas circunstancias los contaminantes tienen mayor velocidad de infiltración, pudiendo afectar aguas subterráneas cercanas.

Como se observa en los resultados obtenidos, es altamente probable que los 9 cementerios seleccionados sean un foco de contaminación ambiental para los cuerpos de agua cercanos, el suelo en donde se encuentran implantados y la población cercana a los mismos, pues es evidente que al estar a una distancia menor a 200m y con pendientes mayores al 10% los contaminantes fruto de la descomposición de los cadáveres puedan transportarse y migrar hacia cualquiera de las matrices ambientales estudiadas.

4.8 Ubicación de cementerios sugerida para no afectación a cuerpos de agua.

Para cumplir la normativa del acuerdo ministerial 3523 sobre distancia mínima entre cementerios a cuerpos de agua de 200m, estos deberían reubicarse a las distancias especificadas en la Tabla 27 desde sus posiciones originales.

Tabla 27.
Distancias de ubicación sugerida para cementerios

Cementerio	Distancia de la posición original	Dirección
Amaguaña	25m	Sur
Chillogallo	200m	Noroeste
Cotogchoa	250m	Oeste
Gualea	225m	Suroeste
Nanegal	75m	Suroeste
Pintag	100m	Este
Sangolquí	100m	Suroeste
Tambillo	50m	Norte
Yaruquí	100m	Suroeste

Para ejecutar una reubicación adecuada se debería realizar un análisis ambiental completo de la cada zona para determinar pendientes, textura del suelo, precipitación y temperatura, además de incluir datos sobre el catastro de la población y factibilidad para los habitantes, ya

que de esto dependería si los lugares escogidos son idóneos no solo desde el punto de vista ambiental sino también desde el punto de vista social. También es importante tener en cuenta los materiales que se utilizaran y del presupuesto que se dispone ya que al poseer una infraestructura que evite la infiltración la ubicación puede cambiar.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A través de esta investigación se logró identificar zonas ambientalmente no adecuadas para la ubicación de cementerios por medio del proceso analítico jerárquico (AHP) y volcando esta información a un mapa temático, en donde se señaló a las zonas de color: rojo como no adecuadas, amarillas como ligeramente adecuadas, naranja como moderadamente adecuadas, verde claro como muy adecuadas y verde oscuro como completamente adecuadas. Además, se realizó cartografía a detalle de 9 cementerios mal ubicados, para determinar su cercanía a cuerpos de agua y pendiente.

En el mapa resultante no se mostraron zonas calificadas como completamente adecuadas desde el punto de vista ambiental, y una gran parte del área comprendida entre los cantones Mejía, Quito y Rumiñahui se localizó entre las zonas No adecuadas y Ligeramente adecuadas. Se localizaron 32 cementerios, de los 70 contabilizados, dentro de estas zonas por lo que se los considera como mal ubicados.

La línea base de los cementerios se realizó con una visita a campo, identificando a los cementerios de Guala y Nanegal como críticos dado que en el análisis multicriterio se ubicaron en las áreas con mayor valor y se ubicaron en la zona ambientalmente no adecuada; los cementerios de Amaguaña, Cotogchoa, Chillogallo, Pintag, Tambillo y Yaruquí a través de la misma metodología se ubicaron en la zona ligeramente adecuada, lo que quiere decir se encuentran al límite de lo permitido pues una variación mínima en las variables estudiadas haría que pasen a la zona no adecuada con lo que la probabilidad de contaminación a las matrices ambientales se incrementaría.

Se generó cartografía 1:1000 por cada cementerio donde consta un Ortomosaico, un Modelo Digital de Superficie, un Modelo Digital del Terreno y un Mapa de la distancia entre el cementerio y el cuerpo de agua más cercano. De esta información se presentan diferencias de altura entre los MDS y MDT debido a que el MDS muestra alturas incluidas edificaciones y vegetación alta mientras que el MDT presenta la altura de suelo.

Al realizar el análisis geográfico-ambiental, se observó que la menor distancia entre cementerios y cuerpos de agua se presentó en Gualea, Chillogallo y Cotogchoa, por lo que son los más propensos a contaminación por cercanía. Los cementerios con el mayor riesgo de contaminación por infiltración fueron Cotogchoa, Gualea y Sangolquí al tener la menor pendiente facilitando la absorción de contaminantes además de texturas de suelo del tipo Franco y Franco Arenoso que no retienen los compuestos. De esto se puede concluir que los cementerios de Gualea y Cotogchoa son los más propensos a contaminación por sus características de proximidad a cuerpos de agua, pendientes e infraestructura deficiente.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda el uso de información de nivel freático, ya que permitiría conocer de mejor manera el riesgo de contaminación de aguas subterráneas y sería una variable a tomar en cuenta para futuros estudios sobre contaminación generada por cementerios y localización de los mismos.

Se recomienda la elaboración de perfiles de suelo que identifiquen cada una de sus capas y determinación de la velocidad que se infiltran los contaminantes en los cementerios seleccionados, para determinar si los suelos son realmente propensos a sufrir daños.

Se sugiere un estudio a mayor profundidad sobre riesgo de contaminación de los cementerios de Gualea y Cotogchoa porque son los que presentaban la infraestructura más deficiente y se encuentran más cerca de cuerpos de agua 53,1 y 43,4m respectivamente.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Álava, J. (2017). EIA para la construcción del Cementerio General de la Ciudad de Portoviejo. *GAD Municipal Portoviejo*, 95-99.
- Archer, M. (2004). Rainfall and temperature effects on the decomposition rate of exposed neonatal remains. *Science & justice: journal of the Forensic Science Society*, 44(1), 35-41. Recuperado el 30 de 11 de 2019
- Arroyo, M. (2017). Proyecto cementerio municipal de Aquiares. *Ministerio del Ambiente y Energía Costa Rica*, 1-4.
- Barredo, C. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid: RA-MA. Recuperado el 12 de 11 de 2019
- Basmajian, C., & Coutts, C. (2010). Planning for the disposal of the dead. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 305-317. Recuperado el 9 de 6 de 2019
- Bastianon, D., & Matos, B. (2000). Geophysical surveying to investigate groundwater contamination by a cemetery. *Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems 2000*, 709-718.
- Berumen, S., & Redondo, F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de administración*, 20(24), 65-87.
- Bozurto, C. (2014). Estudio de impacto ambiental para la construcción del nuevo Campo Santo de la ciudad de Santa Ana. *GAD Santa Ana, Departamento de gestión de recursos naturales*, 70-76.
- Brewer, M. (2018). Biodegradable urn planting system. *U.S. Patent and Trademark Office*(10,123,926).
- Canning, L., & Szmigin, I. (2010). Death and disposal: The universal, environmental dilemma. *Journal of Marketing Management*, 26(11-12), 1129-1142.
- Carter, D., & Yellowlees, D. (2007). Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften*, 94(1), 12-24. Recuperado el 28 de 11 de 2019
- Cisneros, E. (2011). Plan de negocios para la construcción de un cementerio con servicios fúnebres en el norte de Quito. *UDLA*.

- Cohen, R. (2011). Manejo seguro de cadáveres. *Ministerio de salud pública Argentina*.
- DJI. (2019). *DJI.com*. Obtenido de <https://www.dji.com/mavic/info>
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV photogrammetry*. Zurich: ETH Zurich. doi:<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>
- FAO. (2009). Guía de descripción de suelos. Roma.
- Feng, Y., & Wang, J. (2008). GPS RTK performance characteristics and analysis. *Journal of Global Positioning Systems*, 7(1), 1-8. Recuperado el 20 de 11 de 2019
- Forbes, S. (2008). Decomposition chemistry in a burial environment. En *Soil analysis in forensic taphonomy* (págs. 215-236).
- Gao, Y., & Chen, K. (2004). Performance analysis of precise point positioning using real-time orbit and clock products. *Journal of Global Positioning Systems*, 3(1-2), 95-100. Recuperado el 25 de 11 de 2019
- Guo, Q. (2015). Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation. *GPS solutions*, 19(4), 537-544. Recuperado el 25 de 11 de 2019
- Huber, K., & Heuberger, F. (2010). PPP: Precise Point Positioning – Constraints and Opportunities. *FIG International Congress*, 1-17. Recuperado el 25 de 11 de 2019
- IEE. (2013). Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. En I. E. Ecuatoriano, *Geopedología*.
- INEC. (2012). Proyección de la población ecuatoriana, por años calendario, según cantones. *Censo 2010*. Recuperado el 2019 de 06 de 20, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- Jonker, C., & Olivier, J. (2012). Mineral Contamination from Cemetery Soils: Case Study of Zandfontein Cemetery, South Africa. *Internacional Journal of Environmental Research Public Health*, 9(2), 511-520.
- Landau, H., & Chen, X. (2009). Trimble's RTK and DGPS Solutions in Comparison with Precise. In *Observing our Changing Earth*, 133, 709-718. Recuperado el 21 de 11 de 2019
- Langley, R. (1998). Rtk gps. *GPS World*, 9(9), 70-76. Recuperado el 25 de 11 de 2019

- Li, Y., Wang, C., & Tang, H. (2006). Research advances in nutrient runoff on sloping land in watersheds. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 9(1), 27-32. Recuperado el 22 de 11 de 2019
- Luna, S. (2011). Parque cementerio en la ciudad de Riobamba. *Universidad Católica del Ecuador*.
- Ministerio de Salud Pública. (20 de Abril de 2018). Reglamento establecimientos servicios funerarios y manejo cadaveres. *Acuerdo Ministerial 192*.
- Morales, I., & Silva, L. (2006). Formulación de lineamientos sanitario-ambientales para la instalación del nuevo cementerio del municipio de Aguazul Casanare. (F. d. sanitaria, Ed.) *Universidad de la Salle*, 65-68.
- Neckel, A., & Costa, C. (2017). Environmental damage and public health threat caused by cemeteries: a proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 9(2), 216-230.
- Ortega, I. (2015). Declaración de Impacto Ambiental para la Construcción, Operación y Retiro del Camposanto Altos de la Paz. *Ecotono Consultores*, 182-195.
- Pacheco, A., & Mendes, J. (1991). Cemeteries-a potential risk to groundwater. *Water science and technology*, 24(11), 97-104.
- Padilla, J. (2017). Diseño de un cementerio intercultural en la ciudad de Otavalo. *Universidad Central Del Ecuador*.
- Parker, D. (1988). The unique qualities of a geographic information system: a commentary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1547-1549.
- Payne, J. (1965). A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. *Ecology*, 46(5), 592-602. Recuperado el 28 de 11 de 2019
- Peluso, F., & Vives, L. (2006). Evaluación preventiva espacial del riesgo sanitario por la instalación de un cementerio parque. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*(6), 1-14.
- RAE. (2019). *Temperatura*. Obtenido de Real Academia Española: <https://dle.rae.es/?w=temperatura>

- Rebay-Salisbury, K. (2012). Inhumation and cremation: how burial practices are linked to beliefs. *Embodied knowledge: Historical perspectives on technology and belief*, 15-26.
- Remondino, F. (2011). UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. *International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 38(1), 25-31. Recuperado el 28 de 11 de 2019
- Rodrigues, L., & Pacheco, A. (2010). Groundwater contamination from cemeteries cases of study. *Proceedings of the Environmental 2010: Situation and Perspectives for the European Union*, 1-6.
- Rodriguez, W., & Bass, W. (1985). Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *Journal of Forensic Science*, 30(3), 836-852. Recuperado el 25 de 11 de 2019
- Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio* (Vol. 14). Madrid: Isdefe.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Saaty, T. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science*, 32(7), 841-855. Recuperado el 12 de 11 de 2019
- Saaty, T. (1988). What is the analytic hierarchy process? *Springer*, 109-121. Recuperado el 10 de 11 de 2019
- Saaty, T. (2000). *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. (Vol. 6). Boston: RWS publications.
- Santarsiero, A., & Minelli, L. (2000). Hygienic aspects related to burial. *Microchemical journal*, 67(1-3), 135-139. Recuperado el 25 de 11 de 2019
- Spongberg, A., & Becks, P. (2000). Inorganic soil contamination from cemetery leachate. *Water, Air, and Soil Pollution*, 117(1-4), 313-327. Recuperado el 6 de 6 de 2019
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria decision making methods*. Boston: Springer. Recuperado el 11 de 11 de 2019

- Triantaphyllou, E., & Sánchez, A. (1997). A sensitivity analysis approach for some deterministic multi criteria decision making methods. *Decision Sciences*, 28(1), 151-194. Recuperado el 10 de 11 de 2019
- Turner, B., & Wiltshire, P. (1999). Experimental validation of forensic evidence: a study of the decomposition of buried pigs in a heavy clay soil. *Forensic Science International*, 101(2), 113-122. Recuperado el 27 de 11 de 2019
- USDA. (2003). Keys to Soil Taxonomy. Estados Unidos: United States Department of Agriculture. Recuperado el 28 de 11 de 2019, de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051544.pdf
- Uslu, A., Baris, E., & Erdogan, E. (2009). Ecological concerns over cemeteries. *African Journal of Agricultural*, 4(11), 1505-1511. Recuperado el 12 de 06 de 2019
- Zhou, C., & Byard, R. (2011). Factors and processes causing accelerated decomposition in human cadavers—an overview. *Journal of forensic and legal medicine*, 18(1), 6-9. Recuperado el 28 de 11 de 2019
- ychowski, J. (2011). The impact of cemeteries in Kraków on the natural environment—selected aspects. *Geographia Polonica*, 84(1), 13-32. Recuperado el 8 de 6 de 2019