



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

***Evaluation of Water Contamination Caused by
Cemeteries in Central Ecuador—A Warning for the Authorities***

Autora:

Mariuxi Fernanda Ponce Arguello

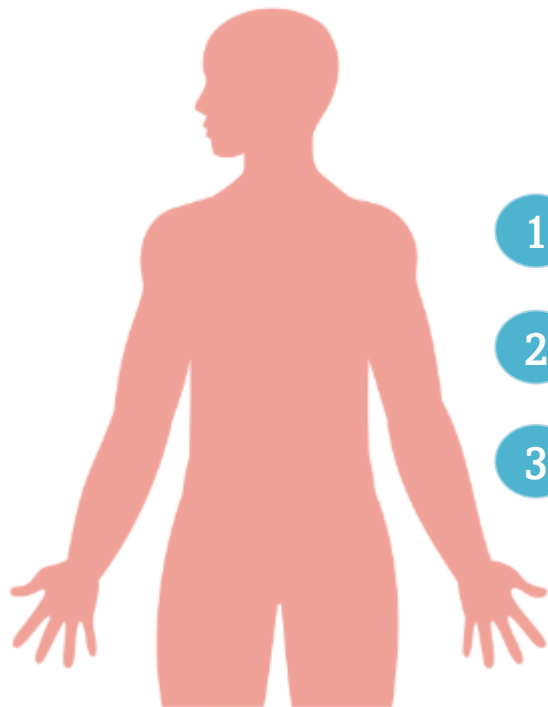
Director del proyecto:

Ing. Tania Crisanto-Perrazo, MSc.

Introducción



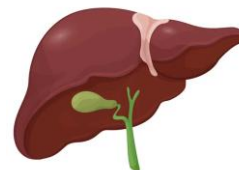
Descomposición humana



1 Reacciones físicas

2 Reacciones químicas

3 Reacciones biológicas



0,4 - 0,6 litros de lixiviado por 1 kg de peso corporal

- ✓ 60% de agua
- ✓ 30% de sales en forma de iones
- ✓ 10% de sustancias orgánicas degradables, hongos y virus

Alto grado de toxicidad y patogenicidad

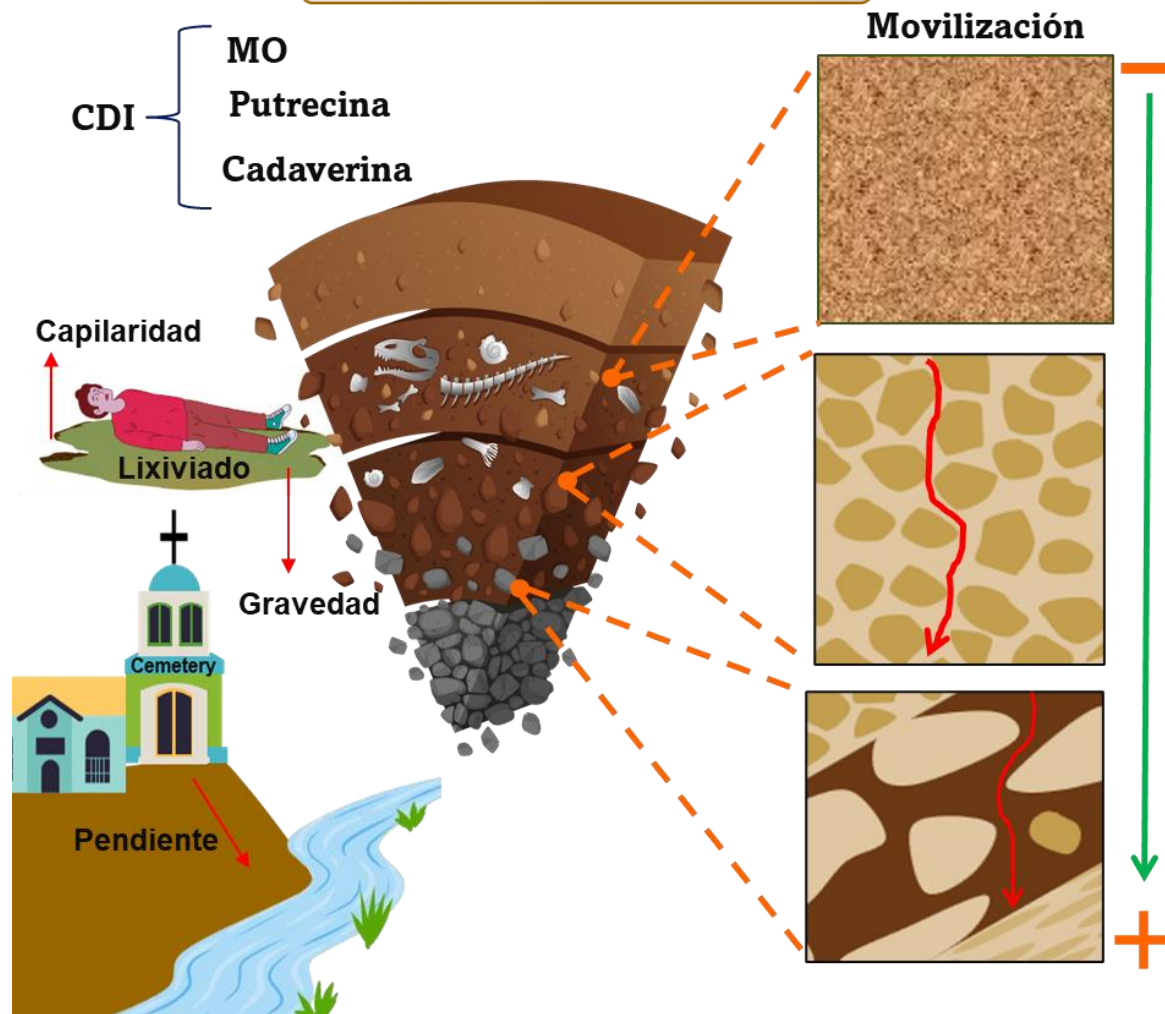


¿Cómo los lixiviados migran al suelo y agua?

Introducción



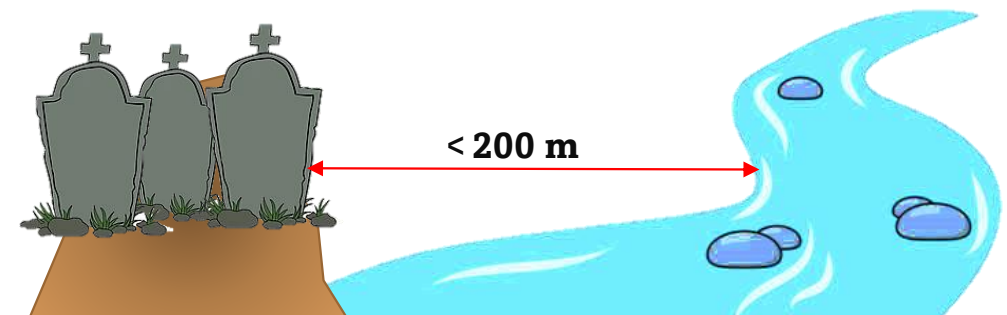
Suelo



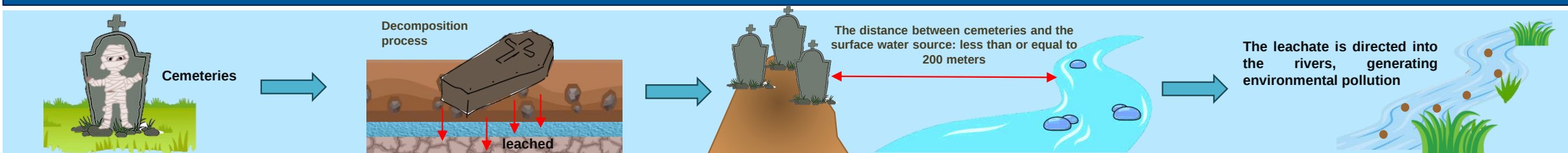
Fuentes de agua



Los lixiviados son capaces de dispersarse en un radio de 400 m



Evaluation of Water Contamination Caused by Cemeteries in Central Ecuador—A Warning for the Authorities



Methodology

Calculation of the representative sample

N = 70 cemeteries

Categories

- Not suitable
- Slightly adequate
- Moderately suitable
- Very suitable
- Completely adequate

n = 10 cemeteries

Water sampling during the seasons:



Dry season



Rainy season

Consisted of three sections: being upstream, parallel and downstream of the cemetery.

Analysis of physicochemical parameters

- ✓ COD
- ✓ NO₃
- ✓ BOD₅
- ✓ PO₄

Laboratory

- ✓ pH
- ✓ DO
- ✓ Temperature
- ✓ EC

In situ

Statistical analysis of the results

Normality

- ✓ Test Shapiro-Wilk
- ✓ Test Kolmogorov-Smirnov

Homoscedasticity

Levene Test Statistic

Software R

ANOVA statistical test

Significant difference in parametric data

Kruskal Wallis test

Significant difference in non-parametric data

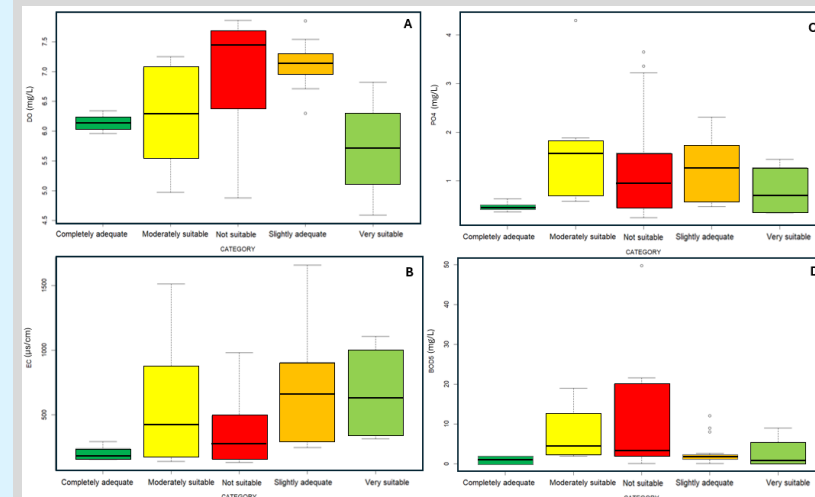
Software R

Application of environmental criteria and comparison with international regulations according to water use



Comparison of results with EPA regulations

Findings



CONCLUSION:

There is a high probability of environmental contamination in the water matrix by the so-called “**Not suitable**” cemeteries, due to the presence of organic matter and non-standard values of BOD₅, COD, NO₃, PO₄; while cemeteries categorized as “**Completely adequate**” have a lower probability of contamination of the water matrix.

Ponce-Arguello et al., 2024

Metodología



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Categorías

- No adecuada (6)
- Ligeramente adecuada(30)
- Moderadamente adecuada(18)
- Muy adecuada (14)
- Completamente adecuada (2)

N = 70 cementerios

Mínimo de tres muestras (cementerios) por categoría.

Método de Análisis Jerárquico (AHP)

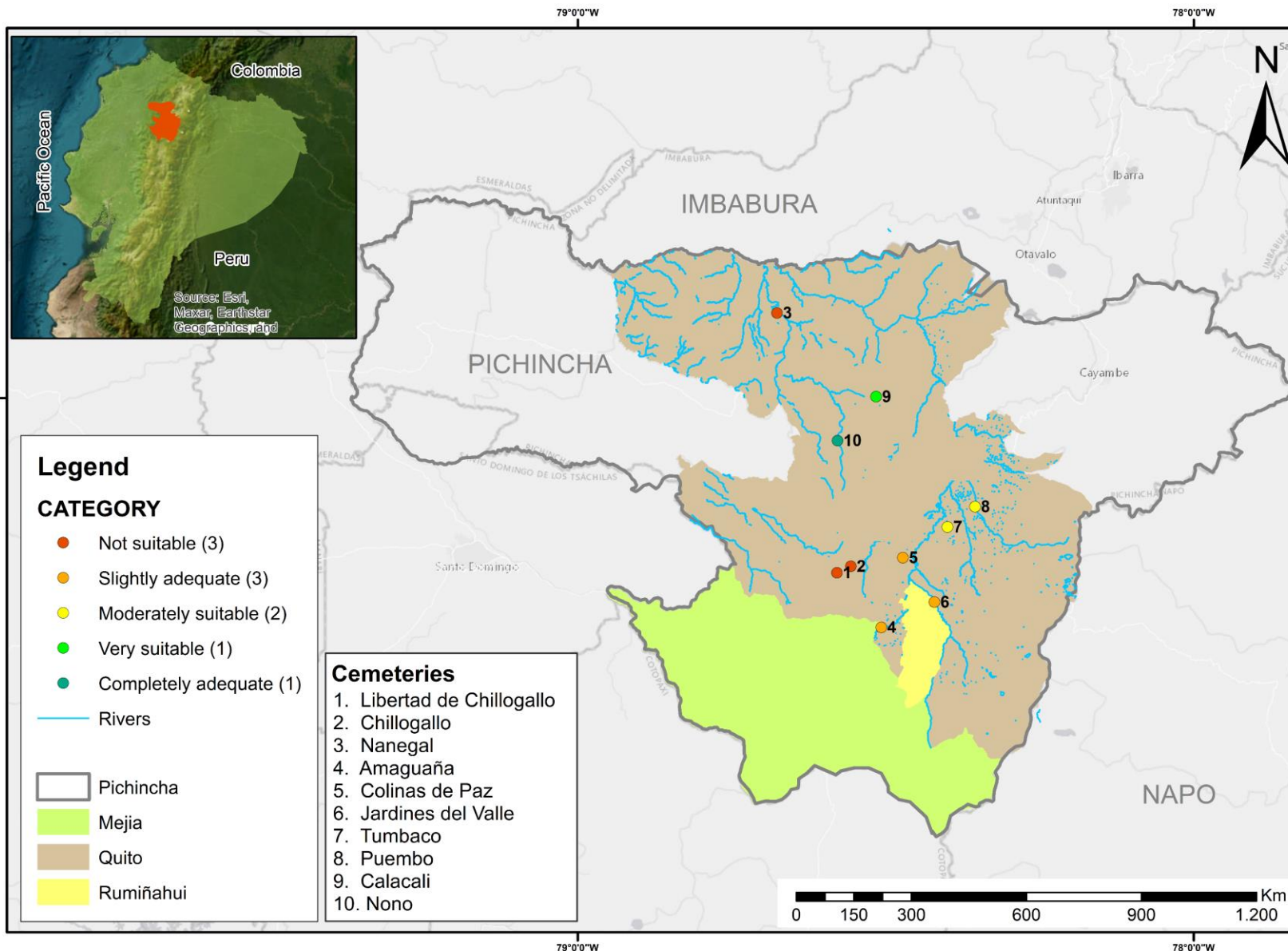
- a₁: accesibilidad
- a₂: tiempo de entierro
- a₃: forma de entierro
- a₄: cantidad de población enterrada
- a₅: cantidad de población afectada
- a₆: distancia al cuerpo de agua
- a₇: distancia del cementerio a la población



$$Ec1 = 0.07 \times a_1 + 0.17 \times a_2 + 0.19 \times a_3 + 0.14 \times a_4 + 0.12 \times a_5 + 0.21 \times a_6 + 0.10 \times a_7$$



Metodología



N = 70 cementerios

n = 10 cementerios

4

Muestreo



Dry season



Rainy season

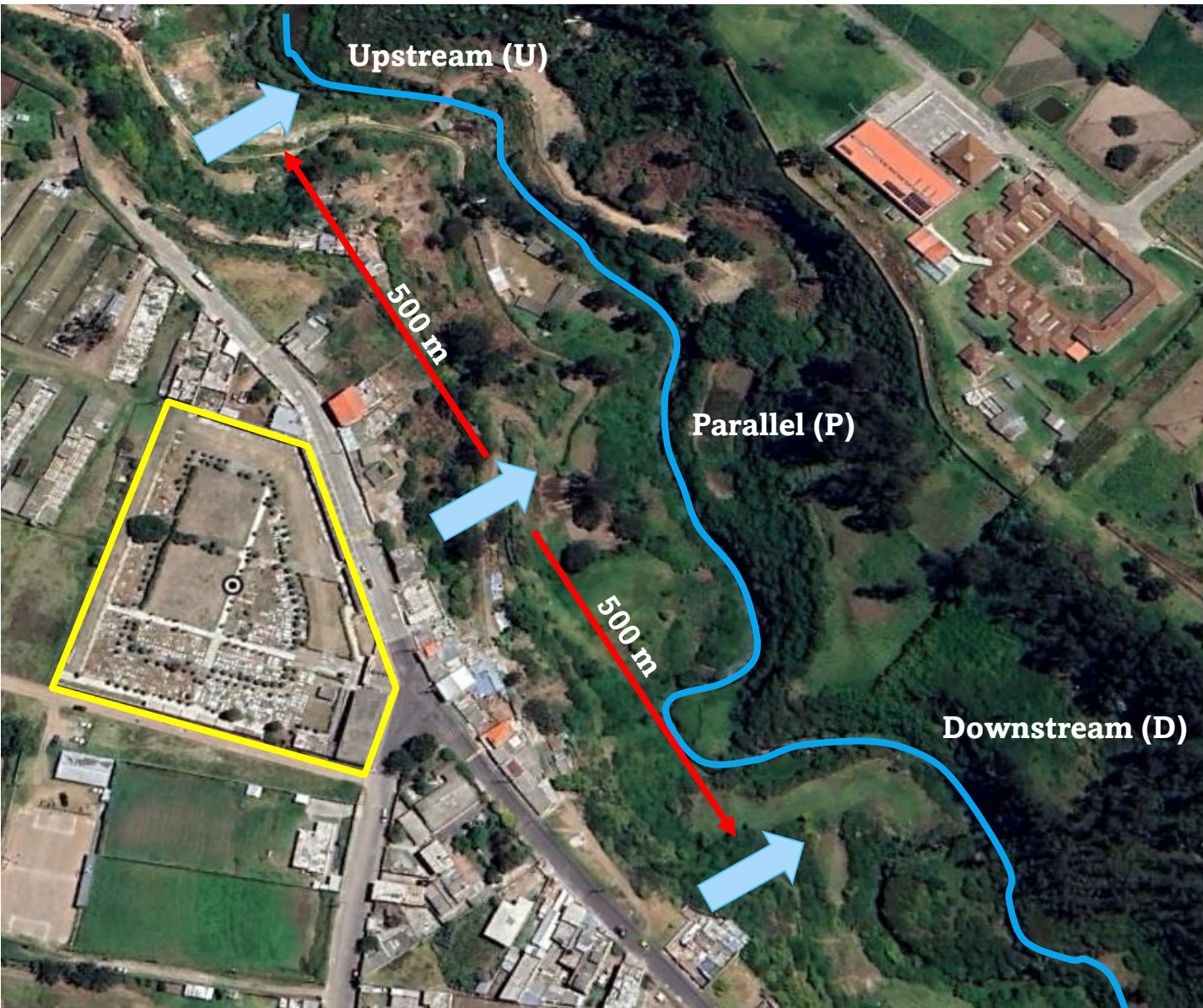
Época seca: julio y agosto

Época lluviosa: noviembre y diciembre

Metodología



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Metodología

5

Análisis de parámetros fisicoquímicos

In situ

- ✓ pH
- ✓ Temperatura
- ✓ Oxígeno disuelto (DO)
- ✓ Conductividad (EC)

Multiparámetro
HACH HQ40D

En laboratorio



COD

- Método PE-V-01 | SM Ed. 23 5220D/ Espectrofotometría VIS

BOD₅

- Método PE-V-06 | SM Ed. 23 5210B/ Barométrico

NO₃

- Método PE-V-20 | SM ED. 23, 2017, 4500-NO3-B/ Espectrofotometría UV

PO₄

- Método PE-V-53 | SM Ed.23, 2017, 4500- P C/ Espectrofotometría VIS

CICAM

6

Comparación de resultados con normativa EPA

Table 1. Uses of surface water sources with quality criteria EPA.

Uses	Quality Criteria							Cemeteries
	DO	pH	EC	PO ₄	NO ₃	BOD ₅	COD	
Agricultural water	-	6.5-8.4 [49]	< 700 μ S/cm [49]	10 mg/L [50]	< 30 mg/l [47]	30 mg/l [50]	120 mg/L [50]	Libertad de Chillogallo (LC)
								Calacalí (CL)
								Nanegal (NA)
								Amaguaña (AM)
Environmental water	> 5 mg/l [51]	6.5 – 8	-	0.1 mg/L [52]	10 mg/l [51]	10 mg/l	-	Chillogallo (CH)
								Colinas de Paz (CP)
								Puembó (PM)
								Jardines del Valle (JV)
								Nono (CN)
								Tumbaco (TB)

La normativa de la EPA se basa en investigaciones científicas sobre los efectos de varios contaminantes en la salud humana.

7

Análisis estadístico

Épocas

Secciones

Categorías

Normality

- ✓ Test Shapiro-Wilk
- ✓ Test Kolmogorov-Smirnov

Homoscedasticity

Levene Test Statistic

R Studio

ANOVA statistical test

Diferencia significativa en datos paramétricos.

Kruskal Wallis test

Diferencia significativa en datos no paramétricos.

Resultados y discusión

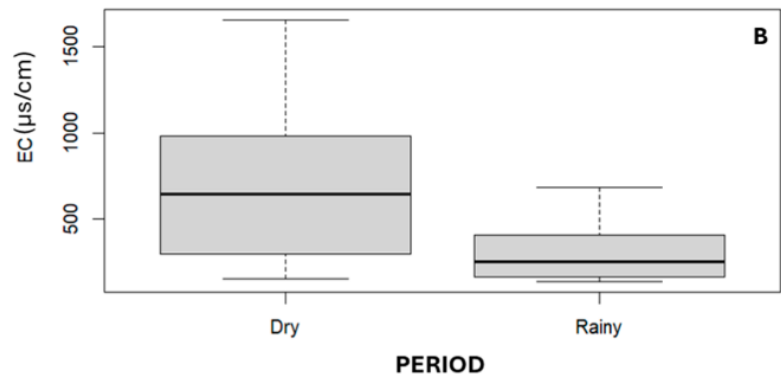


Comparación con la normativa EPA

Category	Cemetery	Section	River	Field Parameters			Laboratory Parameters			
				DO (mg/L)	pH	EC (µS/cm)	PO ₄ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)
Not suitable	CH	U	Grande	5.2	7.75	794	1.04	8.8	3.5	20
		P		4.8	7.36	426	2.94	9.4	21.6	38
		D		5.1	7.68	566	3.36	9.8	20.8	48
	LC	U	Rundobalin	6.4	6.64	171.02	0.83	<5	17.1	79
		P		7.4	7.54	494	3.22	9.3	20.1	56
		D		5.7	7.24	310	3.65	6.4	49.8	147
	NA	U	Alambi	7.7	7.59	152.1	0.25	<5	<0.1	12
		P		7.6	7.79	981	0.76	<5	<0.1	13
		D		7.5	7.66	825	0.6	<5	<0.1	<10
Slightly adequate	JV	U	Pita	7.8	5.87	1658	0.55	<5	0.4	22
		P		7.4	6.35	1321	0.47	6	1.5	22
		D		7.5	6.11	1477	0.59	5.4	0.8	<10
	CP	U	Unnamed	7.0	7.59	293	2.26	5.4	9	54
		P		7.1	7.61	307	1.60	<5	2.6	58
		D		6.3	7.53	1128	1.83	<5	12.1	61
	AM	U	San Pedro	6.8	7.61	655	1.41	33.9	2	29
		P		6.9	7.9	643	2.31	11.2	<0.1	38
		D		6.7	7.87	646	1.99	7.9	<0.1	39
Moderately suitable	TB	U	Quebrada	6.1	6.08	1512	1.57	6.2	13	36
		P		6.3	6.57	908	1.62	7.1	5.2	20
		D		5.4	6.17	1434	1.85	7.9	9	14
	PM	U	Guambi	7.1	7.46	198.7	0.79	<5	2.7	<10
		P		6.3	7.93	201.5	0.9	6.2	3.8	14
		D		7.0	8.27	832	1.6	5.3	2.4	<10
Very	CL	U	Unnamed	5.8	7.52	1108	0.35	19.7	<0.1	13
		P		6.8	7.9	875	1.44	<5	<0.1	19
Completely	CN	U	Charguayacu	6.1	6.95	295	0.63	<5	<0.1	<10
		P		6.2	6.85	191.7	0.36	<5	<0.1	<10
		D		6.3	7.23	240	0.41	<5	<0.1	14

Análisis estadístico

Épocas de muestreo

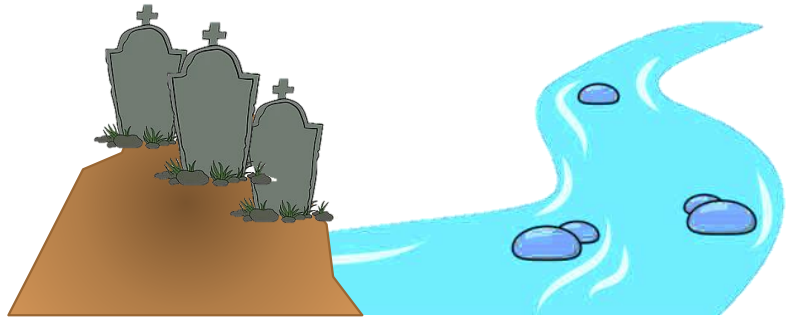


Época Seca: suele ser más alta debido a la concentración de solutos derivados de la descomposición humana.

Época Lluviosa: disminuye por la dilución de los contaminantes debido a la presencia de precipitaciones y la escorrentía.

Secciones de muestreo

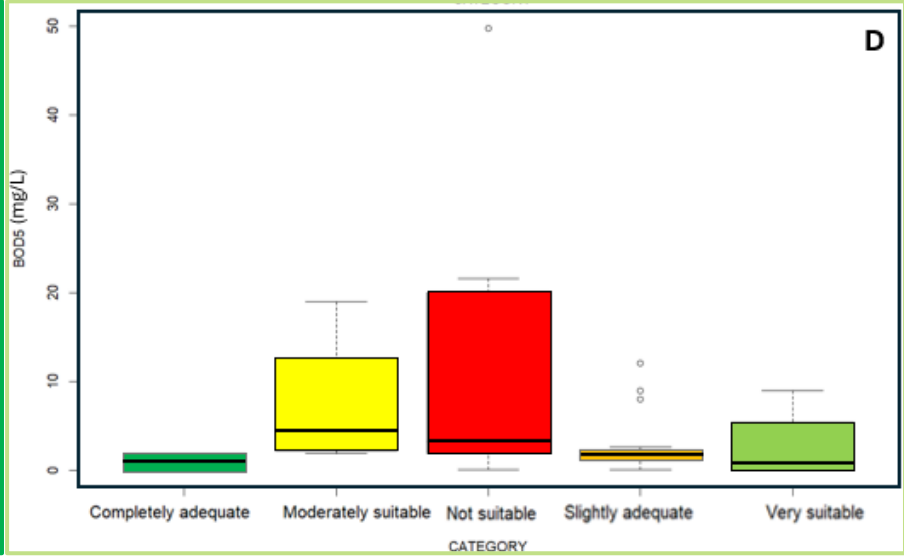
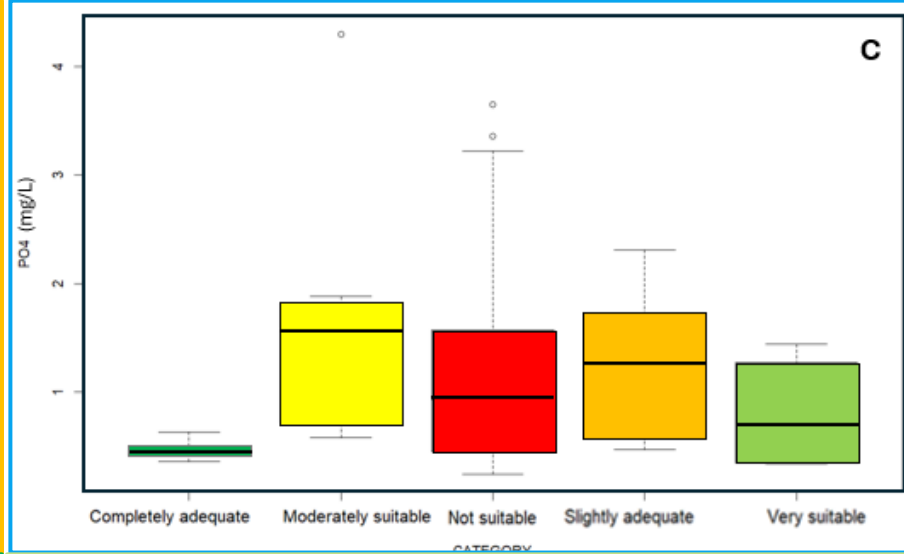
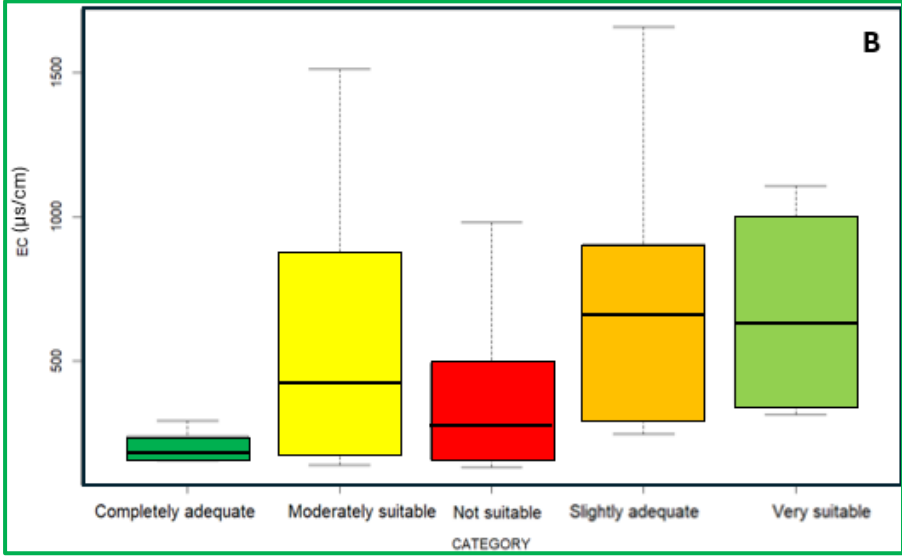
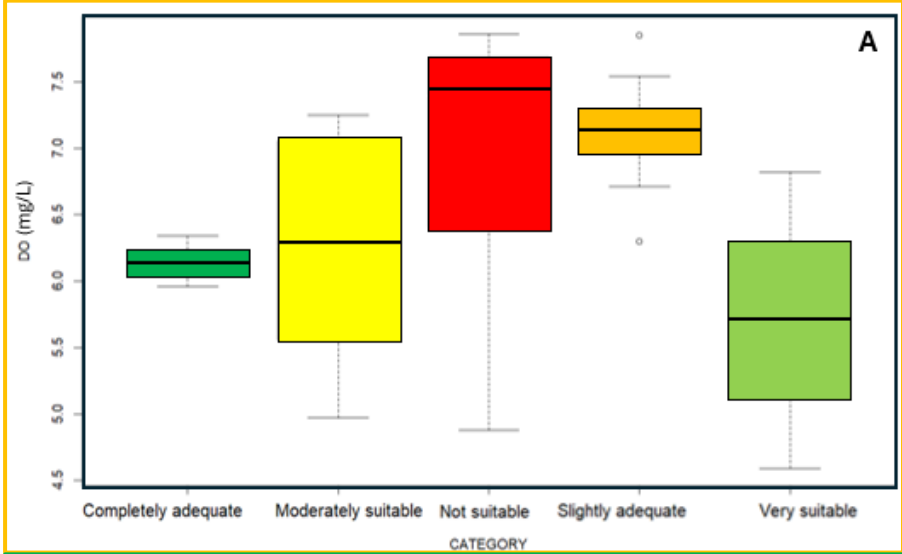
Estadísticamente no existió diferencia significativa, sin embargo, es evidente el aporte que realiza el cementerio.



El pH del agua puede volverse más alcalino (es decir, aumentar) en presencia de materia orgánica descompuesta.

Resultados y discusión

Categorías de semaforización



A

El oxígeno disuelto en el agua tiende a disminuir cuando hay un aumento de materia orgánica. Esto se debe al proceso de descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos, como bacterias y hongos, que consumen oxígeno en el proceso.

B

La conductividad del agua generalmente aumenta cuando hay una mayor cantidad de materia orgánica presente proveniente de la descomposición humana.

C

El cuerpo humano contiene fósforo, un elemento esencial que se encuentra en los tejidos blandos, huesos, y ADN. Durante la descomposición, los microorganismos descomponen los tejidos, liberando fosfatos.

D

La BOD5 es una medida de la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica. A medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica de los lixiviados, la demanda de oxígeno aumenta.

Conclusión



- ➡ Los cementerios ubicados en la categoría “**No Adecuado**” presentan alta probabilidad de contaminación de los ríos cercanos, en vista de que los parámetros analizados superan los límites establecidos en normas internacionales. Mientras que los cementerios ubicados en la categoría “**Completamente Adecuado**” muestran baja probabilidad de contaminación.
- ➡ En varios casos, el río estudiado presenta contaminación en el blanco de muestra (U), lo cual indica que los parámetros de estudio están fuera de norma. Sin embargo, es evidente el aporte que realiza el cementerio, los valores medidos en P (paralelo al cementerio) son mayores que en U.
- ➡ Los valores medidos aguas abajo (D) en varias ocasiones son inferiores al del punto P, esto se explica desde el punto de vista de sustancias no conservativas, es decir, que se diluyen y degradan con el tiempo y la distancia.

Recomendaciones

- ➡ Monitorear los ríos cercanos a los cementerios con el fin de controlar la contaminación ambiental del agua y de esta forma asegurar la protección de la salud pública.
- ➡ Proponer políticas y normas que permitan regular y gestionar la ubicación idónea de los cementerios, mismas que podrían ser extendidas a rellenos sanitarios y plantas de tratamiento de aguas residuales.

Evaluation of Water Contamination Caused by Cemeteries in Central Ecuador—A Warning for the Authorities

by Mariuxi Ponce Arguello ¹ , Tania Crisanto-Perrazo ¹ , Diego Vizuite ² ,
Edwin Ocaña Garzón ³ , Paulina Guevara Garcia ¹ , María Belén Aldás ⁴ ,
Stephany Jaramillo ⁴  and Theofilos Toulkeridis ^{1,5,*} 

¹ Department of Earth and Construction Sciences, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. Gral. Rumiñahui S/N, Sangolquí 171103, Ecuador

² Higher Technology in Environmental Management, Instituto Superior Universitario Sucre, Av. 10 de Agosto N26-27 y Luis Mosquera Narváez, Quito 170522, Ecuador

³ Department of Energy and Mechanical Sciences, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Av. Gral. Rumiñahui S/N, Sangolquí 171103, Ecuador

⁴ Faculty Civil Engineering, Escuela Politécnica Nacional, Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito 170143, Ecuador

⁵ School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124 Thessaloniki, Greece

* Author to whom correspondence should be addressed.

Water **2024**, *16*(16), 2310; <https://doi.org/10.3390/w16162310>

Submission received: 14 July 2024 / Revised: 8 August 2024 / Accepted: 15 August 2024 /

Published: 16 August 2024



Muchas gracias