

# Estudio correlacional entre las propiedades físico-químicas y microbiológicas de los suelos de Puchuncaví aledaños a la refinería CODELCO Ventanas

Natali Zamora Bugueño

20-10-2020

## 1 Introducción

Chile basa gran parte de su economía en la extracción, refinación y exportación de metales como el cobre y zinc, posicionándose a nivel mundial entre los primeros países con mayor producción, llegando a aportar hasta un 31,5% de demanda mundial de cobre (Comisión Chilena de Cobre, <http://www.cochilco.cl>), cuya producción que se genera principalmente entre las regiones norte a centro del país. Los problemas ambientales asociados con la minería son ampliamente conocidos, particularmente en relación a la contaminación de suelos con metales, elementos que disminuyen la calidad y presentan riesgo para el buen funcionamiento de este (Bloem *et al.* 2009). Gran parte de esta producción se centra en las regiones centrales y sur del país, donde ocurre un solapamiento de los sectores productivos generando contaminación de metales en suelos de carácter agrícola; como lo reporta Parra *et al.*, 2014. Si bien se conoce la respuesta de algunas bacterias a la presión causada por elevadas concentraciones de metales, no existen estudios que evalúen cómo se comportan aislados ambientales que se encuentran en suelos que ya tienen altas concentraciones de estos elementos. Es por esto que el presente estudio es del tipo exploratorio con alcance correlacional y descriptivo en donde se caracterizará las características físico-químicas y biológicas medidas en los suelos aledaños a empresas mineras. Conociendo la problemática que se presenta en los suelos de la región de Valparaíso los cuales tienen registro de actividad minera y refinadora de cobre por los últimos 60 años, nos preguntamos qué ocurre la diversidad bacteriana de los suelos aledaños a las refinerías de cobre y cómo les afecta la presencia de altas concentraciones de metales pesados, lo cual será proyectado a través de un modelo lineal simple o múltiple desarrollado en la investigación.

## 2 Metodología:

**Área de estudio:** Para el presente estudio, se seleccionaron los sectores de Puchuncaví pertenecientes a la Región de Valparaíso, como áreas de estudio ya que presentan suelos de carácter agrícola históricamente contaminados. Para cada muestra se registraron las coordenadas y el tipo de cultivo presente. En cada punto se tomaron cuatro muestras de igual tamaño las cuales fueron mezcladas y posteriormente tamizadas en una malla de 2 mm para obtener una sola muestra compuesta. Las muestras fueron conservadas a 4°C hasta su uso.

**Determinación de las características físico-químicas:** Para determinar las características físico-químicas generales de los suelos, se recolectó 1 kg de sub-muestra la cual fue guardada en bolsas resellables y una alícuota de 50 gr fue guardada en tubo falcon bajo condiciones estériles para los análisis microbiológicos. Cada sub-muestra fue secada a 40°C por 48 horas. Las características físico-químicas generales de los suelos (conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica, relación carbono-nitrógeno y texturas) fueron determinadas por métodos de rutina (Verdejo *et al.* 2015). Las concentraciones de cobre disponible y de

metales totales y solubles fueron determinadas por espectroscopia atómica de masas. Los análisis fueron realizados por el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar de la Facultad de Agronomía de la PUCV.

**Determinación del número de bacterias en las muestras de suelo:** Para la determinación del número de bacterias se utilizó el método de número más probable (NMP) (*Cochran, 1950*). Se pesó 10 g de suelo seco y se diluyeron en 90 ml de buffer fosfato (PBS). La solución fue sometida a agitación orbital a 200 rpm por 30 min a 30°C para homogenizar y disolver los agregados de suelo (*Altimira et al. 2012*).

## 3 Resultados

### 3.1 Descripción de datos

A partir de los resultados presentados en la tabla 1. Se puede determinar que el pH promedio de las muestras de suelos es 6,34. Mientras que el promedio del porcentaje de materia orgánica es 3,19%, el promedio de conductividad eléctrica que poseen los suelos es 1,01. En cuanto a la textura de los suelos, estos poseen un porcentaje promedio de arena del 82,4%, de limo 13,38% y arcilla, 4,22%. Por otra parte, la concentración de metales pesados, los suelos de Puchuncaví poseen en promedio 42,77 mg/kg de plomo, 380,95 mg/Kg de cobre, 140,15 mg/Kg de Zinc, 1,16 mg/kg de cadmio y 23,03 mg/kg de arsénico, cuyos resultados se presentan en la Table 1. En términos de parámetros biológicos, en promedio los suelos muestreados poseen  $9,45 \times 10^6$  UFC/g suelo y además, poseen una diversidad promedio de 2,83. Los resultados mencionados anteriormente presentados en la table 2.

Table 1: Medias de las variables físico-químicas medidas en las muestras de los suelos de Puchuncaví. Cabe mencionar que EC corresponde a la electroconductividad, OM se refiere al porcentaje de materia orgánica en los suelos analizados, sand corresponde al porcentaje de arena, clay al porcentaje de arcilla y silt es el porcentaje de limo. En cuanto a los metales pesados estos son presentados en unidades de mg/Kg

pH	EC	OM	sand	clay	silt	plomo	cobre	zinc	cadmio	arsenico
6.34	1.01	3.19	82.4	4.22	13.38	42.77	380.95	140.15	1.16	23.03

Table 2: Medias de las variables biológicas medidas en las muestras de los suelos de Puchuncaví. Cabe mencionar que la columna bacterias corresponde al recuento bacteriano presente en los suelos expresado en UFC/gr de suelo

bacterias	diversidad
9455000	2.83

### 3.2 Análisis de correlación

En términos del análisis de correlación de Pearson ( $P < 0,05$ ) entre las variables físico-químicas y biológicas se obtuvieron correlaciones débiles a moderadas y algunas con tendencia negativa.

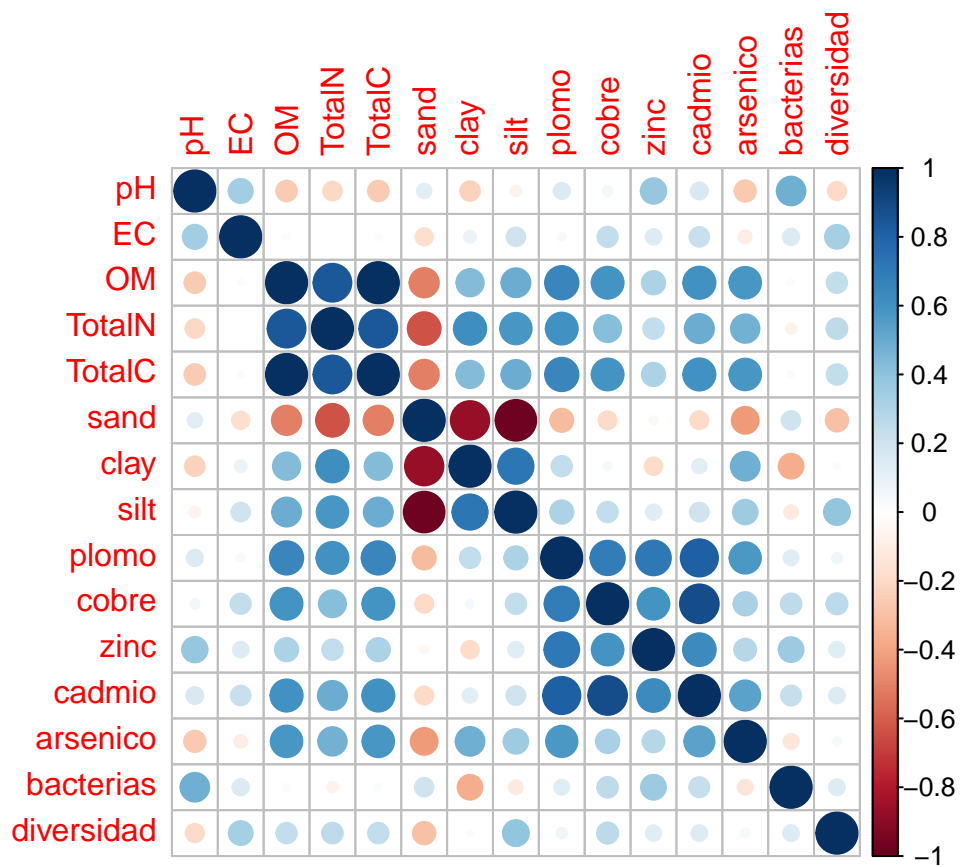


Figure 1: Matriz de análisis de correlación

### 3.3 Modelo propuesto entre las variables físico-químicas y biológicas:

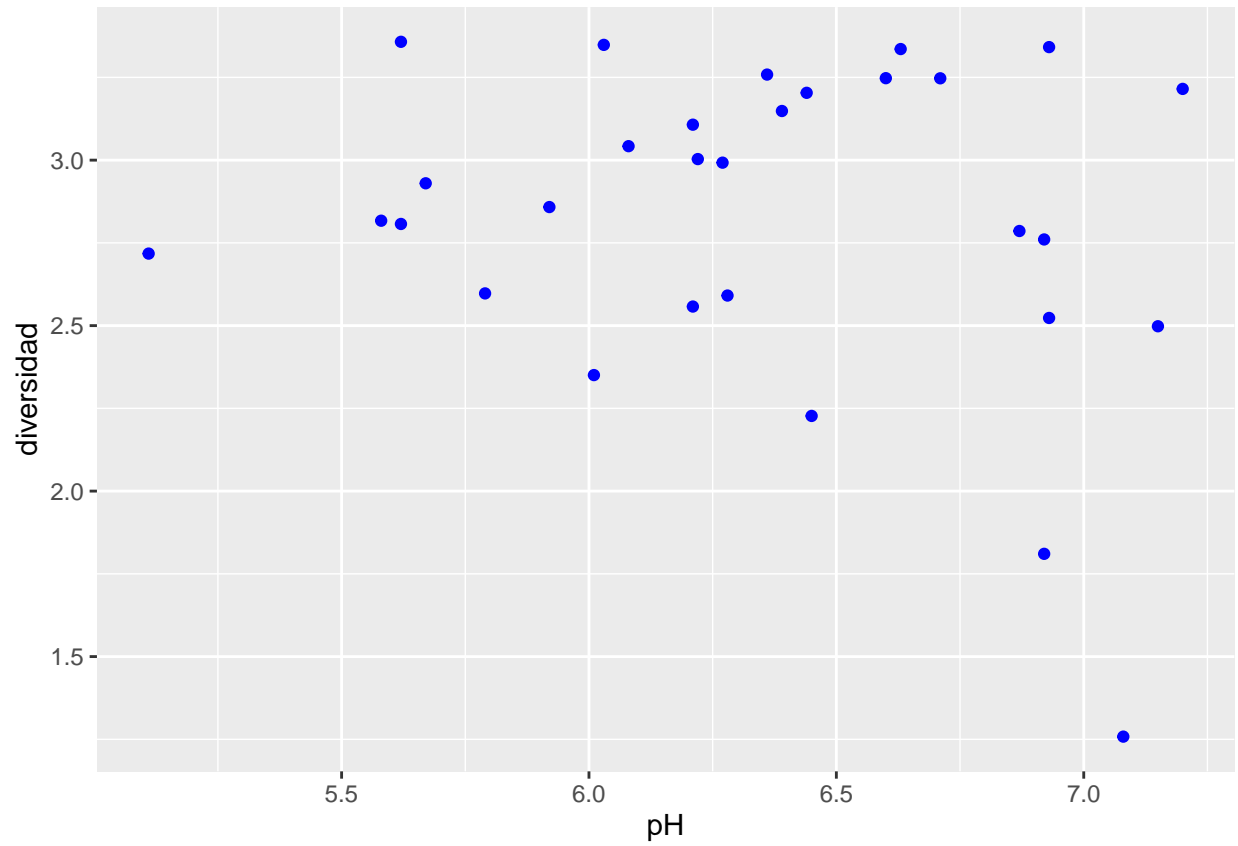


Figure 2: Gráfica de dispersión de variables pH y número total de bacterias presentes en los suelos muestreados.

Table 3: Indicadores estadísticos de modelo propuesto diversidad explicado por la variable pH

r.squared	adj.r.squared	sigma	statistic	p.value	df	logLik	AIC	BIC	deviance	df.residual	nobs
0.04	0	0.48	1.14	0.3	1	-19.46	44.91	49.12	6.43	28	30

Table 4: Indicadores estadísticos de modelo propuesto donde la diversidad es explicada a partir de la variable pH obtenidos mediante tidy.

term	estimate	std.error	statistic	p.value
(Intercept)	3.96	1.06	3.74	0.0
pH	-0.18	0.17	-1.07	0.3

Table 5: Predicciones y residuales del modelo propuesto en el estudio: diversidad explicada por la variable pH.

diversidad	pH	.fitted	.resid	.std.resid	.hat	.sigma	.cooks
3.25	6.60	2.79	0.46	0.99	0.04	0.48	0.02
3.34	6.93	2.73	0.62	1.33	0.08	0.47	0.07
3.34	6.63	2.78	0.56	1.19	0.04	0.48	0.03
3.20	6.44	2.81	0.39	0.83	0.03	0.48	0.01
3.25	6.71	2.77	0.48	1.03	0.05	0.48	0.03
3.35	6.03	2.89	0.46	0.99	0.04	0.48	0.02
3.36	5.62	2.96	0.40	0.87	0.10	0.48	0.04
3.22	7.20	2.68	0.54	1.20	0.12	0.48	0.10
3.26	6.36	2.83	0.43	0.91	0.03	0.48	0.01
3.11	6.21	2.85	0.25	0.54	0.04	0.49	0.01
2.52	6.93	2.73	-0.20	-0.44	0.08	0.49	0.01
2.99	6.27	2.84	0.15	0.32	0.03	0.49	0.00
2.76	6.92	2.73	0.03	0.07	0.07	0.49	0.00
2.60	5.79	2.93	-0.33	-0.72	0.07	0.48	0.02
2.82	5.58	2.97	-0.15	-0.33	0.10	0.49	0.01
1.81	6.92	2.73	-0.92	-1.99	0.07	0.45	0.16
2.79	6.87	2.74	0.05	0.11	0.07	0.49	0.00
3.15	6.39	2.82	0.33	0.69	0.03	0.48	0.01
1.26	7.08	2.70	-1.44	-3.17	0.10	0.39	0.55
2.56	6.21	2.85	-0.30	-0.63	0.04	0.48	0.01
2.59	6.28	2.84	-0.25	-0.53	0.03	0.49	0.00
2.86	5.92	2.91	-0.05	-0.10	0.05	0.49	0.00
2.81	5.62	2.96	-0.15	-0.33	0.10	0.49	0.01
3.00	6.22	2.85	0.15	0.32	0.04	0.49	0.00
2.93	5.67	2.95	-0.02	-0.04	0.09	0.49	0.00
2.35	6.01	2.89	-0.54	-1.15	0.05	0.48	0.03
2.72	5.11	3.05	-0.33	-0.78	0.22	0.48	0.08
3.04	6.08	2.88	0.16	0.35	0.04	0.49	0.00
2.23	6.45	2.81	-0.58	-1.24	0.03	0.47	0.03
2.50	7.15	2.69	-0.19	-0.42	0.11	0.49	0.01

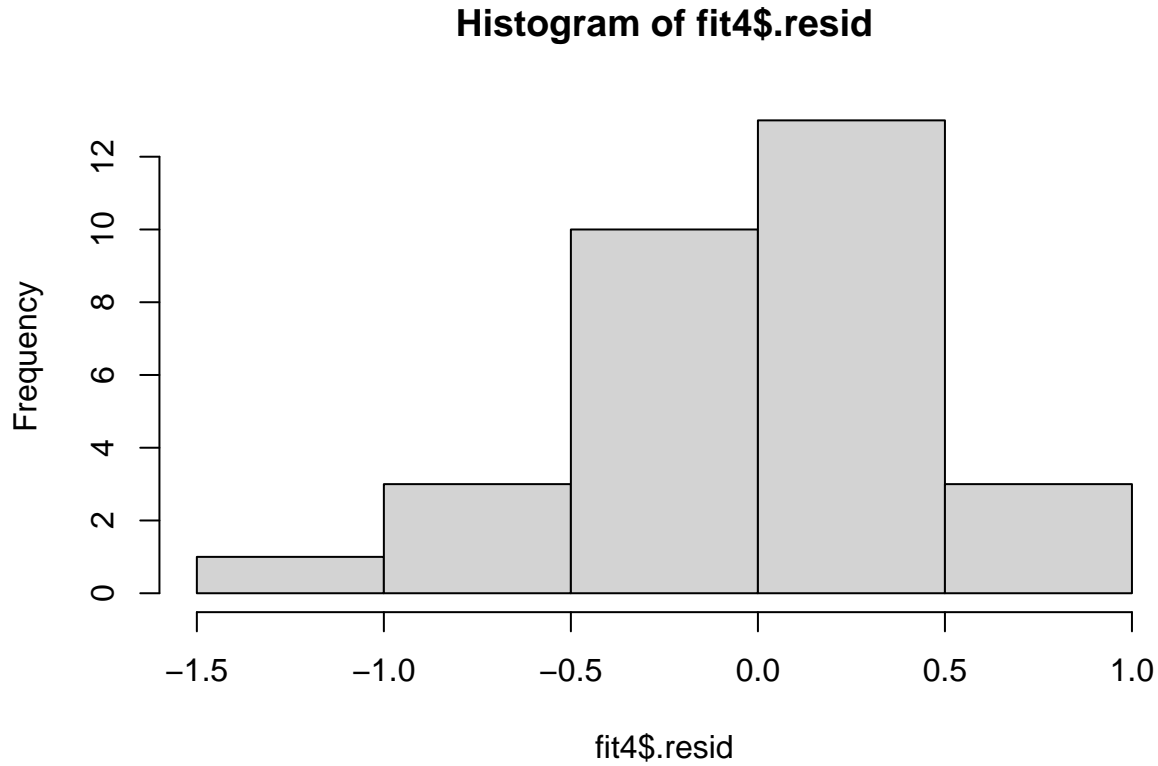


Figure 3: Histograma residuales

Por otra parte, Podría ajustarse mejor si explicamos la variable diversidad con otras variables, como por ejemplo con la presencia de las variables de concentración de metales pesados que fueron medidos en el estudio (cobre, Zinc, plomo y arsénico ). Se logró observar mediante el valor de AIC que entre los diferentes modelos propuestos, los mejores modelos eran: diversidad explicada por la variable pH y diversidad explicada por las variables pH y concentración de cobre en los suelos analizados.

Table 6: Tabla con valores de  $r^2$  y valor del criterio de información de Akaike (AIC) de los diferentes modelos propuestos en el estudio

r.squared	AIC	Modelo	DeltaAIC
0.11	44.49	pH + Cobre	0.00
0.04	44.91	pH	0.43
0.13	45.90	pH + Cobre + Plomo	1.41
0.13	47.85	pH + Cobre + Plomo + Arsénico	3.36
0.16	48.85	pH + Cobre + Plomo + Arsénico + Zinc	4.36

## 4 Discusiones y conclusión

*Kuppusamy et al., 2016*, describieron el efecto de los metales y de los hidrocarburos aromáticos en la diversidad y abundancia de las comunidades microbianas a largo término, encontrando que en un periodo de disturbio

cero las comunidades bacterianas se ven fuertemente influenciadas generando una gran reducción en la diversidad, partiendo con una selección de bacterias resistentes (*Chibuike & Obiora, 2014 y Kamnev et al., 2005*). Sin embargo, cuando se presenta una periodicidad de disturbio (contaminación) durante un tiempo prolongado, las comunidades bacterianas resistentes de estos suelos tienden a desarrollarse y en un periodo largo de tiempo no se observan diferencias significativas entre las abundancias de un suelo poco contaminado a uno altamente contaminado (*Aleem, Isar and Malik 2003; Kuppusamy et al. 2016*). Los suelos 30 analizados en este estudio han sido afectados por contaminantes durante aproximadamente 60 años con periodos de contaminación constante (*Altimira et al. 2012; Parra et al. 2014; Salmanighabeshi et al. 2015*). Los suelos de los diferentes biomas alojan distintos ensamblajes de taxas microbianos, cuya estructura y composición se ve fuertemente influenciado por el parámetro ambiental de pH. Los suelos con pH neutro poseen una mayor diversidad a nivel de phylum con respecto a los suelos que poseen mayor acidez y alcalinidad (*Fierer et al., 2012*). Debido a la elevada contaminación y al interés que generan estos suelos por ser de carácter agrícola, es de vital importancia poseer un mecanismo de recuperación que restaure la salud de estos ecosistemas.

## 5 Referencias

- 1) Aleem A, Isar J, Malik A. *Impact of long-term application of industrial wastewater on the emergence of resistance traits in Azotobacter chroococcum isolated from rhizospheric soil. Bioresour Technol* 2003;86:7-13.
- 2) Altimira F, Yáñez C, Bravo G et al. *Characterization of copper-resistant bacteria and bacterial communities from copper-polluted agricultural soils of central Chile. BMC Microbiol* 2012;12:193.
- 3) Bloem J, Schouten a J, Sorensen SJ et al. *Monitoring and Evaluating Soil Quality.*, 2009.
- 4) Chibuike GU, Obiora SC. *Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. Appl Environ Soil Sci* 2014;2014:1-12.
- 5) Fierer N, Leff JW, Adams BJ, et al.(2012) *Cross-biome metagenomic analyses of soil microbial communities and their functional attributes. P Natl Acad Sci USA* 109:21390-5.
- 6) Kamnev AA, Tugarova A V, Antonyuk LP et al. *Effects of heavy metals on plant-associated rhizobacteria: comparison of endophytic and non-endophytic strains of Azospirillum brasilense. J trace Elem Med Biol* 2005;19:91-5.
- 7) Kuppusamy S, Thavamani P, Megharaj M et al. *Pyrosequencing analysis of bacterial diversity in soils contaminated long-term with PAHs and heavy metals: Implications to bioremediation. J Hazard Mater* 2016;317:169-79.
- 8) Salmanighabeshi S, Palomo-Marín MR, Bernalte E et al. *Long-term assessment of ecological risk from deposition of elemental pollutants in the vicinity of the industrial area of Puchuncaví Ventanas, central Chile. Sci Total Environ* 2015;527-528:335-43.
- 9) Parra S, Bravo MA, Quiroz W et al. *Distribution of trace elements in particle size fractions for contaminated soils by a copper smelting from different zones of the Puchuncaví Valley (Chile). Chemosphere* 2014;111:513-21.