

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y SUELOS PARA CULTIVO DE *Solanum tuberosum* DE LA BAHÍA INTERIOR DE PUNO**DETERMINATION OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS AND CROP SOILS OF *Solanum tuberosum* FROM THE INTERIOR BAY OF PUNO****Katia Andrade Linarez¹, Isabel Castillo Coaquira², Roger Quispe Riquelme³**¹Facultad de Ingenierías, Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú²Facultad de Tecnología médica Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez Puno, Perú³Facultad de Ciencias Universidad Privada San Carlos, Puno, Perú

Katia.andrade@upsc.edu.pe

(Recibido el 6 de febrero 2020, aceptado para publicación el 30 de mayo 2020)

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar la presencia de metales pesados (Pb, Cd y As) en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía Interior de Puno; las muestras fueron analizadas mediante el método espectrometría de emisión óptica ICP-OES para la cuantificación de elementos traza. La concentración de metales fueron comparados con los parámetros establecidos en los ECA para suelo D.S.N° 011 – 2017 MINAM y el CCME. Los resultados muestran que los suelos en estudio se encuentran contaminados por Plomo (505.2 mg/kg) y Arsénico, (40.19 mg/kg), superando los parámetros establecidos; situación que merece una remediación inmediata, concluyendo en que las muestras analizadas presentan tendencias de mayor acumulación de plomo, arsénico y cadmio por encontrarse alrededor de la laguna de oxidación que es la principal vía de contaminación, además de la actividad antropogénicas.

Palabras Clave: Concentración, Cultivos, Metales Pesados, *Solanum tuberosum*.**ABSTRACT**

The objective of the investigation was to determine the presence of heavy metals (Pb, Cd and As) in agricultural soils and soils for crop of *Solanum tuberosum* of the Inner Bay of Puno; the samples were analyzed using the ICP-OES optical emission spectrometry method to quantify trace elements. The concentration of metals were compared with the parameters established in the ECAs for soil S.D. No. 011 - 2017 MINAM and the CCME. The results show that the soils under study are contaminated by Lead (505.2 mg / kg) and Arsenic, (40.19 mg / kg), exceeding the established parameters; a situation that deserves immediate remediation, concluding that the samples analyzed show tendencies of greater accumulation of lead, arsenic and cadmium as they are found around the oxidation lagoon, which is the main route of contamination, in addition to anthropogenic activity.

Keywords: Concentration, Crops, Heavy Metals, *Solanum tuberosum*.**1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años se ha dado un cambio considerable en las características del medio ambiente, de ahí que las evaluaciones en la calidad del suelo son necesarias para poder determinar la vulnerabilidad de estos, lo que resulta en una necesidad para buscar medidas correctivas y preventivas, de esta manera evaluar el riesgo ecológico sobre los suelos agrícolas en todo el planeta, [1], el mal uso y abuso de fertilizantes, plaguicidas, pesticidas, entre otros, los hace susceptibles a la acumulación de estos debido a procesos como la adsorción con la materia orgánica y la retención en agua [2][3]

Por otro lado, El Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America mantiene el concepto de calidad de suelos como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado donde proliferan los microorganismos, particularmente las bacterias hongos y levaduras, que forman parte de comunidades complejas de elevada diversidad biológica, así como la relación de la misma en la acumulación de los metales pesados en suelos [4] [5]. De esta manera se mantiene un equilibrio en el cual puede variar por diversos factores entre los cuales se destacan principalmente los de origen antrópico [6].

Las características fisicoquímicas, biológicas y propiedades de los suelos agrícolas además de las condiciones ambientales que predominan en el medio impactan directa y negativamente en las propiedades y condicionan su capacidad amortiguadora hasta el punto de comportarse como sustancias tóxicas o contaminantes afectando la sostenibilidad de los mismos [7][8], considerando necesario cuantificar, tipificar y conocer qué proporción de estos metales pesados pueden quedarse en el suelo, pasar a la vegetación y posteriormente a los animales y el ser humano,

para tomar medidas de precaución adecuadas y necesarias relacionadas con el uso sostenible de los recursos naturales [9].

Es necesario considerar que la presencia de metales pesados en suelos agrícolas está directamente relacionado con su carácter acumulativo, además que una vez establecidos en los suelos agrícolas y suelos para cultivo es casi imposible erradicarlos, la evolución de la investigación en estos temas define la capacidad casi inadvertida de su no biodegradabilidad hasta alcanzar concentraciones tóxicas, resultando estos suelos no aptos para la práctica de la agricultura y de ser el caso, sus frutos resultan no aptos para el consumo humano [10] [11] [12][13].

Es de suma importancia además poder determinar la calidad de los productos que se obtienen de suelos agrícolas y los suelos para cultivo que son irrigados con aguas residuales que por lo general son de origen antrópico y en algunos casos de origen natural, considerando que la mayoría de estos pueden estar contaminados con metales pesados y As. [4]

Bajo esta premisa podemos considerar que la contaminación de estos suelos por metales pesados puede llegar a persistir cientos de años aún después de que su incorporación se haya detenido, en casos como el Pb y Cu pueden llegar a permanecer en el suelo de 15 a 1100 años [12][14].

Considerando la toxicidad, los metales pueden ser absorbidos por raíces de los cultivos siendo de esta forma tóxicos para los animales y los seres humanos a través de la cadena alimenticia, puesto que también quedan de manera permanente en el suelo, reconociéndose así los efectos adversos que pueden tener los metales pesados [15]. Los metales, cuya escoria es generada por diferentes actividades, al ser descargados y superar niveles críticos contaminan los ecosistemas, fundamentalmente suelos y aguas, modificando la microbiota, incluyendo la bacteriana, lo cual en un futuro modificará negativamente las características biológicas y fisicoquímicas de los ecosistemas [16].

Es importante considerar que se ha comprobado la exposición ambiental por metales pesados en las aguas de la Bahía Interior de Puno, en la cual las concentraciones son permanentes durante todo el año, pudiendo traer consecuencias tanto para el ecosistema como para la salud del ser humano, en este espacio geográfico, existen actividades de beneficio comunitario como la agricultura, ganadería, vivienda que se ven perjudicados con la acumulación de metales pesados.[17] Por otro lado, es importante considerar que los factores que más afectan a la bahía menor del Lago Titicaca, provienen de una acción antrópica directa, los principales problemas ocasionados. El exceso de nitrógeno y fósforo además de los metales pesados, están relacionados con la cercanía a laguna de oxidación y a las aguas servidas, lo cual provoca la eutrofización, proceso en el que el agua se enriquece de estos compuestos estimulando el crecimiento de algas y bacterias en la superficie. Si bien es cierto, aumenta la producción de oxígeno disuelto en la superficie por la fotosíntesis de las algas, éste no es capaz de llegar a las aguas más profundas, siendo liberado a la atmósfera o bien consumido por los "nuevos habitantes", esto implica una estrecha relación entre la situación negativa de las aguas y los suelos que rodean a la Bahía Interior, alterando toda la cadena alimenticia, mientras que desde el punto de vista de los seres humanos la eutrofización es poco atractiva para realizar actividades recreativas y/o vivenciales, siendo dañinas para la salud de las personas, porque disminuye la calidad de las aguas y los suelos [18]

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se realizó en la Bahía interior de Puno, tomando 6 puntos de muestreo para de suelos agrícolas y suelos para cultivos de *Solanum tuberosum*, Figura 1.

Para la recolección y tratamiento de muestras estas fueron tomadas a 30 cm de profundidad, aplicándose el método de zigzag de acuerdo a la guía para el muestreo de suelos (MINAN 2014), realizando una identificación de suelos agrícolas con antecedentes de producción de 5 a 10 años sin descanso, en el mes de octubre época donde podemos identificar los cultivos de *Solanum tuberosum*. Las muestras de suelo fueron tomadas en bolsas de plástico normadas, cerradas herméticamente y llevadas al laboratorio para ser analizadas.

A las muestras fueron sometidas a un proceso riguroso de digestión previa al análisis, con el objetivo de obtener una solución completa de los analitos y la descomposición total de la muestra evitando la pérdida o contaminación de la misma. Además, con ello se reducen las interferencias en resultados debido a la presencia de materia orgánica.

Se procedieron a pesar 0.5 g de muestra de suelos y se les añadieron 10 mL de ácido nítrico (HNO₃). En ambos casos el ácido fue de alta pureza (65 % Suprapur, Merck, Alemania). Las digestiones se realizaron con microondas (CEM-MarsX, CEM Corporation, EUA), con una potencia de 1600 W, con una rampa de 5 min, una presión de 350 psi, una temperatura de 175 °C y un intervalo de 5 min, una vez realizadas las digestiones se filtraron sobre papel Whatman grado 42 (GE Healthcare, UK), se diluyeron con 50 mL de agua desionizada y se refrigeraron hasta su análisis.

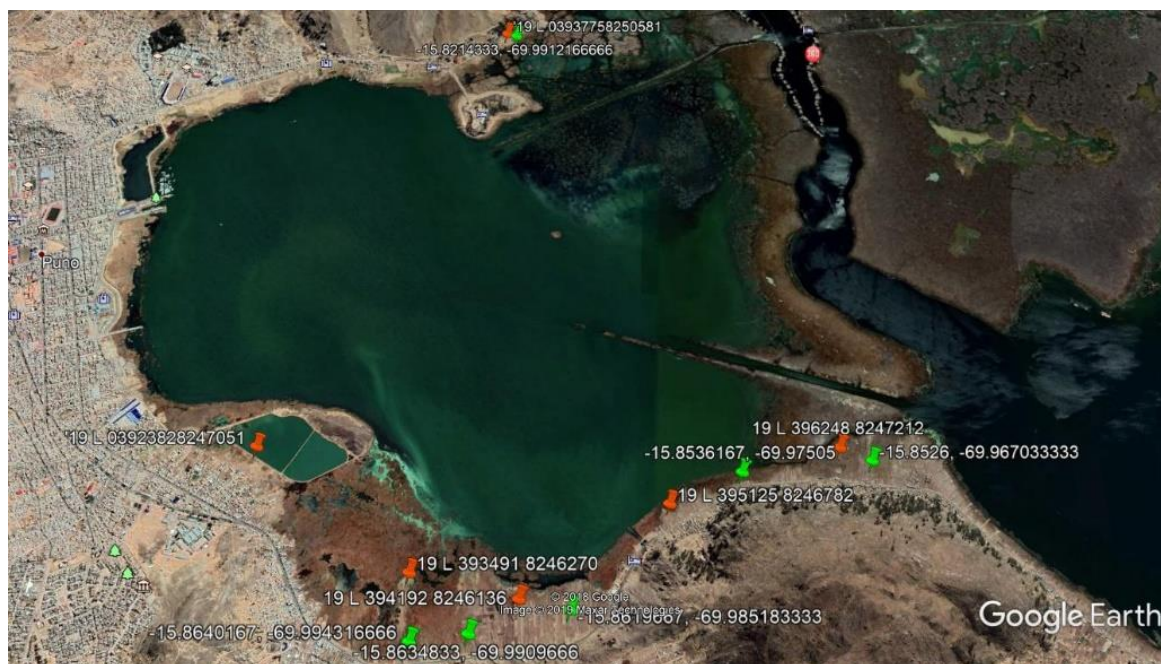


Figura 1: Bahía interior del Lago Titicaca Puno – Perú (6 puntos de muestreo).

Fuente: Ubicación Geográfica a través del GPS.

▪ **Determinación de metales pesados**

Para el análisis de las muestras se utilizó el método de la espectrometría de emisión óptica (OES) de plasma acoplado inductivamente (ICP), ésta es una técnica bien establecida y poderosa para el análisis y cuantificación de elementos traza. El análisis de trazas de metal requiere muestras, patrones de referencia y patrones de calibración preparados con exactitud para asegurar resultados precisos y válidos.

La concentración de metales se evaluó con los ECA para suelos Perú D.S. N° 011- 2017 MINAM y CCME actualizado al 2018, Tabla 1.

TABLA 1 – PARÁMETROS DE CALIDAD ESTABLECIDOS POR EL MINAM Y CCME

Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	ECA para suelo Perú ⁽²⁾	CCME ⁽³⁾
Arsénico	50	12
Bario	750	750
Cadmio	1,4	1.4
Cromo total	**	64
Cromo VI	0.4	0.4
Mercurio	6.6	6.6
Plomo	70	-

**Parámetro no aplica para uso de suelo agrícola

(1) PS: Peso seco

(2) ECA para suelo Perú, Decreto Supremo N° 011- 2017 MINAM

(3) CCME Consejo Canadiense de ministros de medio ambiente, actualizado al 2018

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras fueron seleccionadas para determinar en ellas la presencia de metales pesados (Pb, Cd y As), basándonos en sus características fisicoquímicas y biológicas, además de la ubicación geográfica y cercanía con la laguna de oxidación de la ciudad, [18] y [19].

Los resultados obtenidos en el laboratorio, fueron minuciosamente analizados y comparados con el ECA de suelo Perú D.S. N° 011 – 2017 MINAM y CCME actualizado al 2018.

En la Figura 2 la concentración de plomo en los suelos agrícolas y cultivos fueron notoriamente diferentes entre los puntos 1, 5 y 2 siendo este último observado en ambos casos en vista que excede el parámetro establecido; superándolo

ampliamente. Esto podría estar directamente relacionado a la cercanía de la laguna de oxidación como lo manifiesta [18] constató que en la laguna facultativa El Espinar el efluente no está dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) y ECAS, concluyendo que las actividades de la Laguna Espinar, generan contaminación significativa en la aguas subterráneas por falta de material impermeable y por ende en los suelos cercanos a esta. De igual manera en una investigación realizada en suelos agrícolas en la Habana – Cuba, en el 2013, obtuvieron que, en cuanto a los valores de Pb, el 23 % de estos suelos superaron los niveles considerados como fitotóxicos y límites en algunas normas internacionales, esta coincidencia con nuestra investigación podría deberse a que estos suelos agrícolas y suelos de cultivo se encuentran en zonas altamente urbanizadas, además de encontrarse en un área de dos kilómetros alrededor del vertedero de aguas residuales de “Calle 100” [20]. Sin embargo, en una investigación realizada en Distrito de Riego 028 de Tulancingo, Hidalgo, se estableció que desde hace más de 50 años los agricultores utilizan aguas residuales para producir cultivos forrajeros, por lo que se caracterizaron los suelos agrícolas, obteniendo que los suelos no presentan deficiencias para K, P, Ca, Mg y Zn, además se estableció que los porcentajes de materia orgánica y contenido de nitrógeno inorgánico fueron pobres y la concentración de metales pesados fue baja, la diferencia con nuestros resultados se debe prioritariamente a que desde hace años se trabaja con el diseño de árboles en linderos, concluyeron además en que la plantación agroforestal es aceptable técnicamente para este tipo de suelo [21].

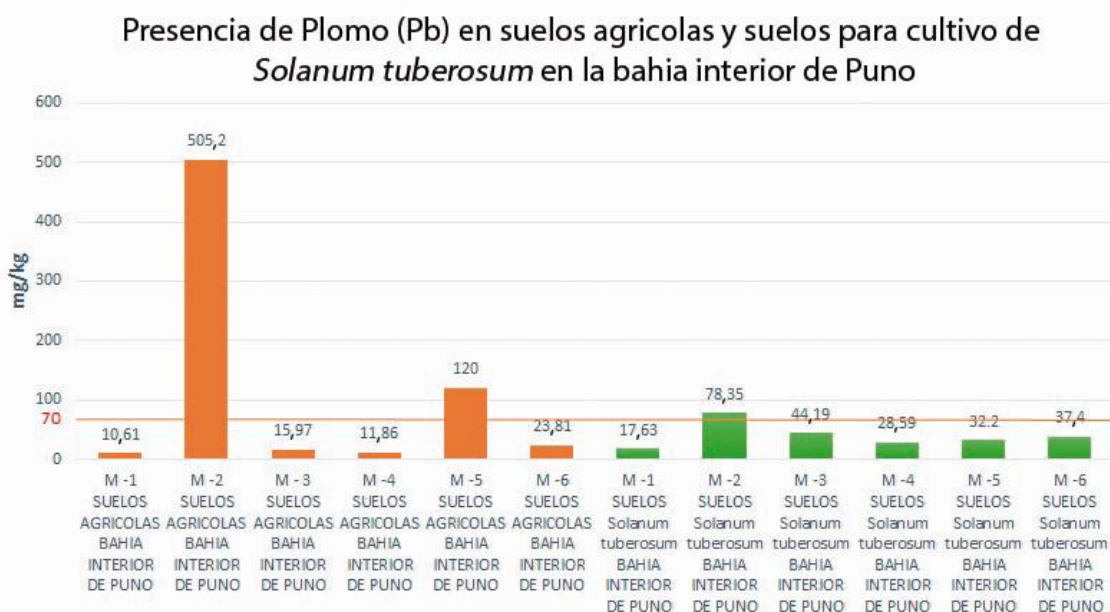


Figura 2: Concentración de Plomo en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum*.

En la Figura 3 observamos que la concentración de Arsénico en el punto 2 tanto en suelos agrícolas como suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* son elevados pese a esto, se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el MINAM, sin embargo están por encima de los parámetros establecidos por CCME. Así mismo podemos observar que en el punto 5 para ambos casos se encuentra por encima de los parámetros establecidos, estos resultados coinciden con los hallados por [4] quien sostiene que el factor de enriquecimiento indica que los metales y As presentes en los suelos agrícolas de las zonas analizadas son de origen antrópico, además sostiene que la presencia de contenido de metales pesados pudo deberse al tiempo de exposición a aguas residuales que servían para la irrigación. Nuestros resultados difieren con una investigación realizada en Falcon – Venezuela, pues ellos plantearon utilizar aguas residuales para riego agrícola en las zonas semiáridas y mejorar las propiedades biológicas de estos, como resultado observaron que el riego permanente incrementó el contenido de materia orgánica alcanzando 4.31%, el cual fue significativamente superior ($p < 0.05$) a los tratamientos con riego intermitente y sin riego previo con agua residual con 1.33 y 0.88%, respectivamente, estos resultados además reflejaron una mayor actividad biológica, lo cual se evidenció en el aumento de la biomasa microbiana y en las poblaciones de hongos y bacterias en el tratamiento con riego permanente, además no se hallaron metales pesados luego del riego con aguas residuales en estos suelos agrícolas, esta diferencia en los resultados puede deberse a la diferencia entre suelos de estudios y la importancia dada a la concentración de materia orgánica, la cual puede ser tomada también como parte de un proceso de biorremediación [22].

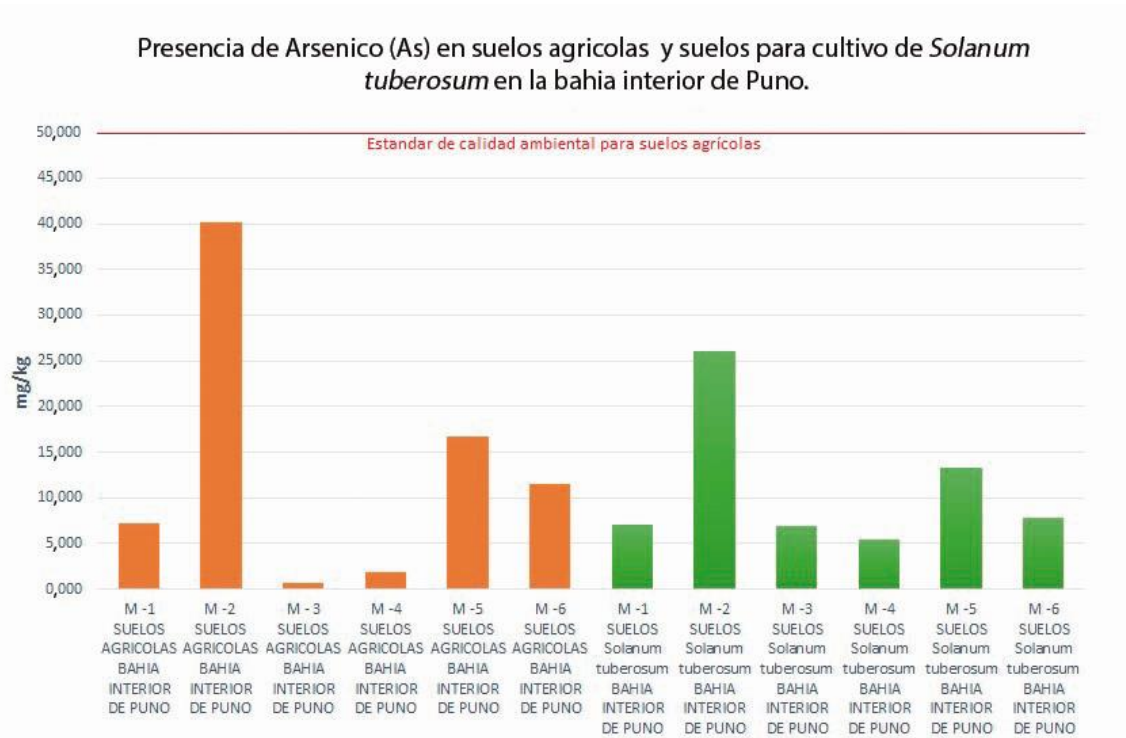


Figura 3: Concentración de Arsénico en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum*.

En la Figura 4 podemos observar que la concentración de Cadmio supera lo establecido por el MINAM y CCME en todos los puntos tanto en suelos agrícolas como en suelos para cultivo de *Solanum tuberosum*, considerando los puntos 2.5 y 6 como los de mayor concentración, por lo tanto los que mayor procesos de biorremediación necesitaran en un futuro, estos resultados concuerdan con los obtenidos por [17] quienes realizaron una investigación acerca de los sedimentos superficiales de la Bahía Interior de Puno, llegando a los resultados de que el Cadmio era el elemento más enriquecido en los sedimentos debido a los desechos industriales y agrícolas drenados en el lago. El índice de geoacumulación refirió que Cd y Pb eran los contaminantes comunes en los sedimentos del lago, esta coincidencia se debe a que la zona de muestreo es la misma.

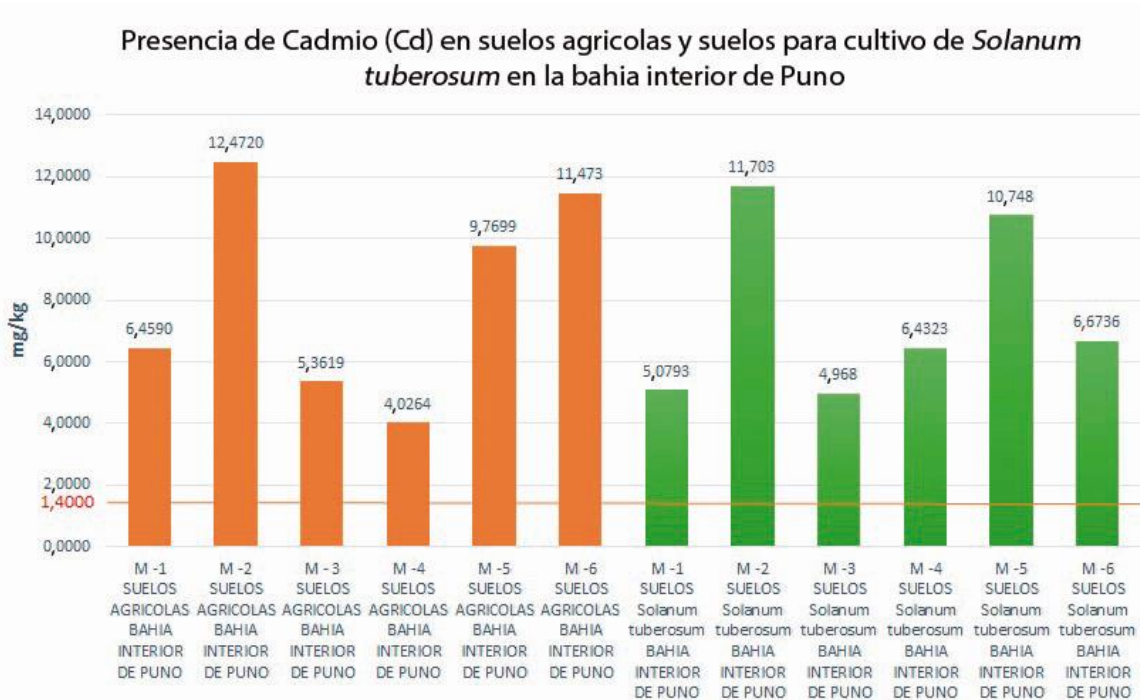


Figura 4: Concentración de Cadmio en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum*.

4. CONCLUSIONES

La concentración de metales pesados como son Pb, Cd y As en suelos agrícolas y suelos para cultivo de *Solanum tuberosum* de la Bahía interior de Puno se acumularon en los puntos que están cerca de la laguna de oxidación, encontrándose en la mayor cantidad de parcelas de cultivos, superando en todos los casos los parámetros establecidos por los ECAs, MINAM y CCME.

EL contenido de Plomo y Arsénico demuestra un alto porcentaje de acumulación comparada con los estándares establecidos en los ECA para suelo D.S.N° 011 – 2017 MINAM y el CCME. Así mismo, se puede concluir que las presencias de metales pesados en los suelos agrícolas son de origen antrópico, por lo que es importante tomar medidas de prevención con las autoridades y personal de salud, para tomar acciones que permitan evitar la propagación de contaminantes en los suelos agrícolas de la Bahía Interior de Puno.

5. AGRADECIMIENTO

Agradecer a la Universidad Privada San Carlos por el apoyo en la ejecución de la presente investigación. A todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la presente investigación.

6. REFERENCIAS

- [1] G. Merrington, A. Peters, P. Whitehouse, R. Clarke, and D. Merckel, “Delivering environmental benefit from the use of Environmental Quality Standards : why we need to focus on implementation,” 2017.
- [2] S. D. Leal *et al.*, “Residuos de Plaguicidas Organoclorados en suelos agrícolas,” *Terra Latinoam.*, vol. 32, pp. 1–11, 2014.
- [3] F. Plenge, J. Sierra, and Y. Castillo, “Riesgos a la salud humana causados por plaguicidas,” vol. I, no. 3, pp. 4–6, 2007.
- [4] N. P. Castro, F. Calderón, R. Moreno, J. V. Tamariz, and E. Reyes, “Heavy metals pollution level in wastewater and soils in the alto balsas sub-basin in tlaxcala and puebla, Mexico,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 35, no. 2, pp. 335–348, 2019.
- [5] A. Faissal, N. Ouazzani, J. R. Parrado, M. Dary, and H. Manyani, “Impact of fertilization by natural manure on the microbial quality of soil : Molecular approach,” pp. 1437–1443, 2017.
- [6] M. del M. Delgado, R. Millares, F. Alonso, C. Rodriguez, and J. Martín, “Heavy metals concentration in soil, plant, earthworm and leachate from poultry manure applied to agricultural land,” vol. 30, no. 1, pp. 7–13, 2014.
- [7] J. P. Mendez, C. A. G. Ramírez, A. D. R. Gutiérrez, and F. P. Garcia, “Plant contamination and phytotoxicity due to heavy metals from soil and water,” *Trop. Subtrop. Agroecosystems*, vol. 10, no. 1, pp. 19–44, 2008.
- [8] M. S. Askari, S. M. O’Rourke, and N. M. Holden, “Evaluation of soil quality for agricultural production using visible-near-infrared spectroscopy,” *Geoderma*, vol. 243–244, pp. 80–91, 2015.
- [9] L. Chambi, V. Orsag, and A. Niura, “Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio de Poopó - Bolivia,” *Rev. Investig. e innovación Agropecu. y Recur. Nat.*, vol. 4, no. 1, pp. 67–73, 2017.
- [10] R. L. Miller, I. Tegen, and J. Perlwitz, “Surface radiative forcing by soil dust aerosols and the hydrologic cycle,” vol. 109, pp. 1–24, 2004.
- [11] J. Dach and D. Starmans, “Heavy metals balance in Polish and Dutch agronomy : Actual state and previsions for the future §,” vol. 107, pp. 309–316, 2005.
- [12] F. Mapanda, E. N. Mangwayana, J. Nyamangara, and K. E. Giller, “The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare , Zimbabwe,” vol. 107, pp. 151–165, 2005.
- [13] C. Micó, M. Peris, J. Sánchez, L. Recatalá, and S. Alicante, “Heavy metal content of agricultural soils in a Mediterranean semiarid area : the Segura River Valley (Alicante , Spain),” vol. 4, pp. 363–372, 2006.
- [14] G. Rueda, J. Rodriguez, and R. Madriñan, “Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas : Perspectivas para Colombia,” pp. 203–218, 2011.
- [15] E. González, M. A. Tornero, E. Sandoval, A. Pérez, and A. J. Gordillo, “Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 27, no. 4, pp. 291–301, 2011.
- [16] A. J. Armado, J. A. Pérez, D. Durán, D. Reyes, M. E. Medina, and Ó. E. Valbuena-Vílchez, “Efectos sobre parámetros bioquímicos y biológicos bacterianos en suelos que contienen concentraciones permisibles de metales,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 34, no. 3, pp. 441–451, 2018.
- [17] E. Moreno, G. Argota, R. Alfaro, M. Aparicio, S. Atencio, and G. Goyzueta, “Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca- Puno Perú,” *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 19, no. 2, pp. 125–134, 2017.

- [18] J. Ordoñez, “Geotecnia Ambiental de la Laguna Facultativa ‘El Espinar’-Ciudad de Puno 2011,” Universidad Privada de Tacna, 2015.
- [19] J. Mahecha, J. Trujillo, and M. Torres, “Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta,” *Orinoquia*, vol. 19, no. 1, pp. 118–122, 2015.
- [20] A. L. y P. P. S. OLIVARES RIEUMONT, D. GARCÍA CÉSPEDES, L. LIMA, I.SABORIT SÁNCHEZ, “Niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba.”
- [21] M. A. Sánchez-Hernández, E. Hernández-Acosta, and D. Cristóbal-Acevedo, “Caracterización de suelos regados con aguas residuales para establecer un sistema agroforestal,” *Rev. Mex. ciencias agrícolas*, vol. 4, no. 5, pp. 811–817, 2013.
- [22] D. T. y H. endis C. F. Zamora, N. Rodríguez, “Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela.”