

Efectos adversos de metales pesados en la agricultura de la cuenca baja del río Huaura-provincia Huaura 2017

Adverse effects of heavy metals in agriculture of the lower basin of the Huaura river-province Huaura 2017

Ranulfo Flores Briceño^{1*}

¹Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión (UNJFSC). Avenida. Mercedes Inda cochea 609, Huacho, Perú

*Autor correspondiente: rfloresb_101@yahoo.es (R. Flores)

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar los efectos adversos de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn) en plantas de maíz tipo amarillo duro INIA 611 NÚTRI PERÚ, regados con agua de cuenca baja del río Huaura. La experiencia de campo se desarrolló en una parcela de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental (UNJFSC). Se prepararon dos sub-parcelas una para experimentación (E) y otra para control (T). Se realizaron dos tratamientos. El control se regó con agua de caño y el experimental con agua de la cuenca baja del río Huaura, se evaluó el grado de absorción y acumulación de metales pesados en las partes orgánicas del maíz durante cinco meses de estudio, se analizó su efecto adverso de cada elemento metálico. Los resultados obtenidos, no represento ningún riesgo para el desarrollo de la especie de estudio, los contenidos de Cd, Pb, Cu, Zn, no superaron el umbral de tolerancia que puedan causar efectos tóxicos. La aplicación del agua de riego de la cuenca baja del río Huaura a un suelo de las características del presente estudio (francamente arenoso), no afecta la calidad de la planta de maíz ni causa problemas en la agricultura a corto plazo.

Palabras clave: maíz; cuenca; metal pesado; Fitotoxico; absorción

ABSTRACT

The objective of the study was to determine the adverse effects of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) on INIA 611 NÚTRI PERÚ hard yellow maize plants, irrigated with water from the lower basin of the Huaura river. The field experience was developed in a plot of the Faculty of Agricultural Engineering, Food and Environmental Industries (UNJFSC). Two sub-plots were prepared, one for experimentation (E) and the other for control (T). Two treatments were performed. The control was irrigated with tap water and the experimental one with water from the lower basin of the Huaura river, The degree of absorption and accumulation of heavy metals in the organic parts of maize during five months of study was evaluated, the adverse effect of each metallic element was analyzed. The results obtained, did not represent any risk for the development of the study species, the contents of Cd, Pb, Cu, Zn, did not exceed the threshold of tolerance that can cause toxic effects. The application of irrigation water from the lower basin of the Huaura river to a soil of the characteristics of the present study (frankly sandy), it does not affect the quality of the corn plant or cause problems in agriculture in the short term.

Keywords: corn; basin; heavy metal; phytotoxic.

1. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son constituyentes naturales de las rocas, sirven como materias primas de la industria minera desarrollándose esta actividad mayormente sobre los 4000 metros sobre el nivel mar. El Perú, según Corzo (2015), dice que las actividades minero-metalúrgicas son intensas y por lo tanto de gran significancia en el desarrollo económico nacional, pero al mismo tiempo son responsables de graves problemas de contaminación sobre el agua, suelos y cultivos, como producto de la descarga de sus residuos sólidos y líquidos resultantes del proceso de extracción, flotación, disposición de relaves (Alkorta et al. 2010). Incrementando los niveles de estos elementos metálicos en la biósfera (Lara et al. 2013).

En la cuenca del río Huaura se desarrolla actividad minera formal de explotación polimetálica, encontrándose los yacimientos más importantes en los lugares de Uchucchacua, los Quenuales (Iscaycruz), en la provincia de Oyon, compañías actualmente están activas y otra de menor escala como Caujul y Mallay. Empresas mineras que extraen de sus minerales Zn, Pb, Cu, Ag, etc., igualmente se explotan yacimientos de carbón mineral en las localidades de Osuna, Pampalahuá y Parquín con un 8.4 % de la producción (Ministerio de Energía y Minas 2010). La agricultura es la actividad principal de la cuenca baja del río Huaura, cultivándose generalmente, caña de azúcar, maíz amarillo duro, frejoles, etc. (Ministerio de Agricultura - ANA, 2013), utilizan el agua para irrigar sus cultivos. Los metales contenidos en el agua tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos (Roqueme, J. et al. 2015, Pérez-Cruz et al., 2013). En las plantas cultivadas, el proceso de acumulación de metales pesados es de especial interés debido a que podrían incorporar a la cadena alimenticia elementos potencialmente peligrosos para la salud del ser humano (Sarwar et al., 2017). Reyes, Y. *et al.* (2016) mencionan que en los suelos las excesivas concentraciones de metales podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, debido a que los metales se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. todos los metales pesados representan un riesgo, algunos de ellos se han relacionado con enfermedades que pueden representar un grave peligro para la salud humana, como el Cd que se asocia a enfermedades de los huesos y daño renal, además de ser considerado como un elemento cancerígeno (Waisberg, M. et al. 2013); Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben los elementos metálicos acumulándolos en sus tejidos vegetativos y que dependerían de su concentración, y en especial en la solución húmeda (Mendieta W. & Taisigüe L., 2014). Los metales como el Mn^{+2} , Fe^{+3} , Zn^{+2} , Cu^{+2} , son esenciales para el desarrollo normal de las plantas son componentes naturales y/o catalíticos de proteínas y enzimas. Otros como el Cr^{+3} , V, Ti, Co y Se, a pesar de no ser esenciales, son beneficiosos. El exceso de Al^{+3} , Cd^{+2} , Hg^{+2} , As^{+3} , Pb^{+2} , resulta de especial relevancia tóxica para las plantas (Isaza, G. 2014). La fito-toxicidad ocasionada por las altas concentraciones de metales pesados da como resultado clorosis, crecimiento débil de las plantas e incluso puede ocasionar reducción en la captación de los nutrientes, desórdenes en el metabolismo (Shahid *et al.* 2013). Los metales pesados causan estrés oxidante en las plantas (Rascio, N. 2011). Se ha reportado que el estrés por metales afecta a la fotosíntesis, a la fluorescencia de la clorofila y a la resistencia estomatal (Shahid *et al.* 2014b). Por ejemplo, el cobre inhibe la fotosíntesis y los procesos reproductores, el plomo reduce la producción de clorofila mientras que el arsénico interfiere con el proceso metabólico y disminuye la germinación de las semillas (Soudek *et al.* 2013). Consecuentemente, el crecimiento de las plantas se reduce o es total (Nazar *et al.* 2012), los síntomas de toxicidad por Cd son atrofia y clorosis. Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, en distinto grado dependiendo de la especie vegetal y de las características y contenido de metales en el suelo (Pauget *et al.* 2012). La acumulación de metales en tejidos vegetales por absorción u otras formas de asociación natural, da la posibilidad de ser biodisponibles a los seres humanos y animales a través del consumo de estos productos (Rascio, N. *et al.* 2013). Esta posible vía de exposición es particularmente relevante en el caso del maíz (*Zea mays* L.) ya que es un alimento básico de la dieta de los peruanos, y su cultivo constituye una actividad importante para la sobrevivencia de la familia campesina, por lo que el impacto generado por los residuos mineros representa un problema de salud, ambiental y social. El desarrollo del maíz es afectado por algunos elementos metálicos que se refleja en los diferentes órganos y tejidos que pueden presentar algunos cambios estructurales lo que altera también su rendimiento (Ruiz, H. & Armienta, H. 2012). Los órganos de las plantas difieren en su capacidad para acumular metales, las raíces, tallos, hojas, frutos y semillas presentan diferentes niveles de concentración y acumulación de metales pesados (Shahid *et al.* 2012c, 2014d) Cuando la fuente de metales pesados es el suelo, en general los niveles decrecen en el orden: raíces > tallos > hojas > frutos > semillas.

Cadmio El Cd, es el metal más soluble y peligrosos (Faroon O, Ashizawa A, Wright S, et al 20129). En plantas, los síntomas de toxicidad por Cd son atrofia y clorosis. La clorosis puede aparecer debido a una interacción directa o indirecta con el Fe, Zn, P y el Mn. Altos contenidos de Cd en el medio de crecimiento inhiben la absorción de Fe en las plantas. Los estudios realizados por (Sanitá di Tipi y Gabbrielli 2000). El Cd. interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y del agua, produciendo un desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Nazar *et al.* 2012). Las plantas cultivadas en suelos contaminados con cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración (Park *et al.* 2012). Cd disminuye la viabilidad celular, inhibe la formación de hueso y la actividad de fosfatasa alcalina (Flores, Arroyo, Ortiz, & Quiroz., 2013)

Plomo. En las plantas el Pb se almacena principalmente en las raíces, siendo mínima su presencia en las estructuras reproductivas. La fitotoxicidad en plantas por plomo ocasiona desordenes en las actividades fisiológicas normales, hasta matar eventualmente las células a altas concentraciones (Cambrolle *et al.*, 2011).

Los procesos fisiológicos principalmente afectados son la actividad enzimática, la nutrición mineral, el potencial hídrico, (Guala et al., 2012,). Los síntomas de toxicidad por el plomo en plantas se pueden dividir en síntomas específicos y no específicos. síntomas específicos presentan una disminución del porcentaje e índice de germinación, de la proporción longitud radicular / parte aérea, del índice de tolerancia a plomo y mercurio, y el peso seco de las raíces y de la parte aérea. Los síntomas visuales no específicos son: inhibición rápida del crecimiento radicular, reducción del área foliar, inhibición de la germinación de las semillas y retarda el crecimiento de las plantas (Isaza G.,2013). el plomo es un metal carente de valor biológico, debido a su tamaño y carga puede sustituir al calcio acumulándose en los tejidos óseos (Qaisar *et al.*, 2012).

Cobre. (Cu), El cobre, a concentraciones ligeramente superiores a las requeridas por las plantas (30mg·kg⁻¹ de tejido en peso seco), produce efectos tóxicos tales como la inhibición del crecimiento en raíces y brotes (Lequeux et al., 2010; Zhao et al., 2010). La reducción de la actividad de las enzimas del sistema antioxidante (Bouazizi et al., 2010; Zhang et al., 2010). Las mayores concentraciones de Cu en órganos reproductores se han encontrado en el embrión y la cubierta seminal de granos de cereales, indican que la relación (metal en grano y en hoja) / (metal cambiante en suelo) decrece en orden Zn>>Cu>>Pb>Cd, siendo los valores más altos para hojas, que para granos. En trigo (*Triticum aestivum*) excesos de Cu reducen el transporte de Zn en el floema debido a que Cu y Zn compiten por los mismos sitios de transporte (Chigbo y Batty 2013). La muerte celular en las raíces es resultado de la acumulación de cobre (Lequeux et al., 2010; Lehotai et al., 2011). puede estar involucrado en el daño neuronal por oxidación, en la enfermedad de Alzheimer.

Cinc. (Zn) considerado elemento esencial para las plantas, participa en varios procesos metabólicos como componente de varias enzimas. El contenido promedio en superficie de suelos de diferentes países varía de 17 a 125 mg kg⁻¹. La movilización y lixiviación del Zn es mayor en suelos ligeramente ácidos. Amezcua, R. y Lara, F. (2016). La absorción y acumulación de grandes cantidades de zinc resulta tóxica para las plantas porque ocasiona un desbalance metabólico generalizado en sus células, En exceso, es capaz de remplazar e inhibir la función del hierro, manganeso, causan inactividad al unirse con proteínas y enzimas que no lo requieren y genera un daño o la muerte de la célula y genera un daño o la muerte. A nivel del organismo, los síntomas visibles asociados a niveles excesivos de zinc en los tejidos y órganos de las plantas son: la disminución de frutos y semillas, un crecimiento atrofiado y el amarillamiento de las hojas debido al fenómeno de clorosis (ocasionado por la degradación de la clorofila y de los cloroplastos,). En los suelos el exceso de zinc compete e interfiere en la raíz con la absorción de fósforo, magnesio, manganeso, ocasionando la desnutrición de la planta. Los síntomas de toxicidad en plantas aparecen, por lo general, cuando las hojas presentan concentraciones mayores a 300 mg/Kg de tejido, frejol a100mg/Kg. (Amezcua, R. y Lara, F. 2016). El maíz tipo amarillo duro es cultivado y consumido por los pobladores locales y comercializados a poblaciones cercanas lo que podría constituir un riesgo en la salud de los habitantes de la región. No se conocen reportes de concentraciones de metales pesados en este producto. Por lo que el objetivo principal de este estudio fue determinar los efectos adversos de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn.) en el maíz amarillo duro regados con agua de la cuenca baja del río Huaura con el propósito de establecer el riesgo de la salud en la población. Teniendo como objetivo específico: La determinación del grado de absorción de cadmio, plomo, cobre y cadmio en las diferentes partes orgánicas de la especie estudiada, mediante dos tratamientos Experimental y testigo durante el tiempo de cultivo (junio - noviembre del 2017).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Material

2.1.1. Descripción del Área de estudio simular experimental

Para el estudio se seleccionó una parcela de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, situado en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, Departamento de Lima, entre los paralelos 11°26' - 11° 25' de Latitud Sur y los Meridianos 77° 38' - 77° 36' de Longitud Oeste de Greenwich. Se encuentra a 158 Km, al norte de la Ciudad de Lima, en Perú.

2.1.2. Material de Estudio

Lo constituyeron las plantas de maíz amarillo duro sembradas en las sub-parcelas de estudio.

2.1.2.1 Población

Estuvo constituido las plantas de maíz tipo amarillo duro sembradas en las sub-parcela.

2.1.2.1.1. Muestra

De cada sub-parcela se extrajeron 5 plantas de maíz totalmente al azar cada mes durante el tiempo de cultivo
Tipo de muestreo: Probalístico

2.1.3. Diseño de Investigación: Experimental

2.1.3.1. Experimentación

a) Siembra del Maíz

La parcela de estudio se subdividió en dos sub-parcelas de 20 m² (4 x 5) cada una con una distribución de 10 surcos, cada sub-parcela fue separadas por un espacio para evitar la contaminación entre ellas. Se seleccionó semillas de maíz amarillo INIA 611 NUTRI-PERU, híbrido simple de alta densidad, se sembraron 4 almácigos por golpe a una distancia de 30 cm de semilla a semilla, a la sub-parcela experimental se regó con agua de la cuenca baja del rio Huaura transportada en 10 bidones de plástico de 6 galones de capacidad, y a la de control se regó con agua de caño (agua potable), realizándose cada 8 días durante el tiempo de cultivo.

b) Muestreo de suelos

Se realizaron muestras de suelos antes y durante el tiempo de cultivo, se extrajeron 5 muestras de suelos al azar a una profundidad de 30 cm, se agregaron a un hule plástico de 2m² y se preparó una muestra compósito por el método del cuarteo (MINAM. 2013), se trasladó a una bolsa plástica se selló, se etiqueto, y se envió al laboratorio de suelos aguas y foliares de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Trujillo(UNT). Para su análisis físico químico. Tabla 1.

c) Muestreo de agua de riego.

Se realizaron análisis del agua de riego durante el tiempo de cultivo de las plantas de maíz tanto experimental como del control, provenientes de la cuenca baja del rio Huaura y del agua potable. para las muestras de agua se tomaron 2 litros en envases de plástico (MINAGRI.2016), se etiquetaron y se enviaron al laboratorio de suelos aguas y foliares de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNT.

e) Tratamiento de las muestras de maíz

Cada mes se extrajeron cinco plantas de maíz totalmente al azar de cada una de las sub-parcela experimental y control, se lavaron con agua de caño y luego con agua destilada, se separaron la raíz, tallo, hojas, se acondicionaron en bandejas de acero inoxidable y se secaron en horno de vapor de aire caliente a temperatura de 110°C, durante 24 horas, enfriadas las partes orgánicas secas se pesaron y se trituraron en molino de acero inoxidable marca corona, se pesaron 10 g. de muestra en frascos plásticos previamente lavados con agua destilada y secados, se etiquetaron y se enviaron para su análisis químico por el método de absorción atómica , al Laboratorio de análisis y servicios a la comunidad (LASACI)- Análisis Instrumentales de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo.

2.2 Análisis estadístico

Todos los resultados constituyen la media y desviación estándar de tres repeticiones. El estudio estadístico se realizó mediante el programa informático SPSS 25 entorno Windows realizándose un análisis con la prueba t de student, considerando que existe diferencia entre las medias si la probabilidad de equivocarme es menor que 0.05, se usó la prueba t por la presencia de dos grupos (experimental y control) para variable cuantitativa, siendo el interés la comparación de sus medias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Efectos en el suelo

La Tabla 1. Reporta valores de Cd, Pb, Cu, Zn, en el sustrato experimental E observándose un mayor nivel de acumulación comparado con el sustrato control, esta diferencia se debería a la presencia de los metales pesados en el agua de riego de la cuenca baja del rio Huaura o de cultivo (Ministerio de Energía y Minas, 2010).

Tabla 1. Promedio mensual de metales pesado en el suelo del campo experimental de la Facultad de Ingeniería agraria Industria Alimentaria y Ambiental (UNJFSC).

Muestra Metales	Unidades	Tiempo de cultivo				
		Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre
Cadmio	ppm	0,100	0,022	0,032	0,026	1,10
Plomo	ppm	12,000	3,820	2,693	6,124	26,80
Cobre	ppm	11,000	5,010	4,010	8,020	17,90
Zinc	ppm	20,000	13,020	8,241	11,263	32,20

3.2 Metales pesados en las partes vegetativas en las plantas de maíz amarillo duro.

Tabla 2. Promedio mensual de los valores de la concentración de metales pesados (Cd, Pb, Cu, Zn.) en las partes orgánicas de las plantas de maíz; experimental y control.

Tejido Vegetal	Experimental (E) mg/Kg				Control (T) mg/Kg			
	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn
Primer mes								
Raíz	1,65	6,11	21,72	24,57	1,49	3,49	13,48	21,15
Tallo	-	-	-	-	-	-	-	-
Hojas	1,21	1,31	18,96	32,31	1,07	1,09	16,00	16,15
Segundo mes								
Raíz	1,42	7,48	21,12	27,95	1,37	7,22	19,30	17,45
Tallo	1,85	2,19	14,69	22,84	0,75	1,05	14,62	14,56
Hojas	1,93	3,17	17,77	39,46	1,24	1,73	15,98	17,80
Tercer mes								
Raíz	1,45	8,84	23,12	21,57	1,18	8,28	19,39	17,59
Tallo	1,74	4,33	17,20	20,12	0,52	2,22	16,14	16,61
Hojas	0,96	4,81	17,85	24,03	0,58	2,91	16,12	17,03
Cuarto mes								
Raíz	1,02	5,25	16,06	17,96	0,45	4,72	13,18	16,47
Tallo	1,86	3,05	16,91	20,18	0,50	1,16	1,21	3,40
Hojas	0,96	3,62	18,34	23,91	0,34	1,92	10,83	15,59
Quinto mes								
Raíz	1,28	7,36	21,01	25,17	0,98	5,59	15,17	17,51
Tallo	1,50	3,77	22,45	27,08	0,54	1,47	12,97	15,30
Hojas	1,28	3,59	25,04	28,26	0,83	2,83	13,75	17,74

La tabla 2. Muestra los valores de Cd, Pb, Cu, Zn, en los tejidos vegetales de las plantas de maíz, sembradas en los suelos sustrato E y control T, durante los cinco meses de crecimiento. Se observa: Tabla 3, las plantas del sustrato E mostraron niveles menores de Cd y Pb y niveles mayores de Cu y Zn; para el sustrato control mostraron niveles menores de Cd, Pb, Cu y solo Zn mostró un incremento significativo y se debería a que las plantas absorben los metales de acuerdo al contenido en el suelo (Mendieta W. & Faisigues L., 2014). Los niveles más altos de Cd, Pb, Cu fueron observados en raíces, mientras que en hojas fueron similares a excepción del zinc que muestra un incremento mayor en las hojas, se debería a la diferente capacidad que tienen las plantas de maíz de acumular metales en sus partes vegetativas (Shahid et al., 2012c, 2014d)). Al realizar el análisis y teniendo en cuenta el tiempo de crecimiento, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) al comparar las concentraciones en raíces con relación a las hojas.

Tabla 3. Contenido de metales pesados Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc bioacumulados en las partes orgánicas en el 1° mes de crecimiento de la planta por grupo de estudio.

Parte orgánica y Metal pesado	Grupo de estudio: Procedencia agua cultivo		
	Río Huaura (E)	Control (T)	Prueba
	$\bar{x} \pm DE$	$\bar{x} \pm DE$	
Raíz:			
Cadmio	1,6732 \pm 0,2137	1,4975 \pm 0,1606	t=1,14 p>0,05
Plomo	6,1019 \pm 0,3991	3,4977 \pm 1,2277	t=3,50 p<0,05

Parte orgánica y Metal pesado	Grupo de estudio: Procedencia agua cultivo			Prueba	
	Río Huaura (E)	Control (T)			
	$\bar{x} \pm DE$	$\bar{x} \pm DE$			
Cobre	21,7206 \pm 3,1755	13,4816 \pm 0,3996	t=4,46	p<0,05	
Zinc	24,5794 \pm 1,5314	21,1569 \pm 2,7470	t=1,89	p>0,05	
Hojas					
Cadmio	1,1835 \pm 0,1092	1,0788 \pm 0,1873	t=1,08	p>0,05	
Plomo	1,3068 \pm 0,3324	1,0912 \pm 0,0558	t=1,26	p>0,05	
Cobre	18,7502 \pm 1,2816	16,6045 \pm 1,5723	t=2,34	p>0,05	
Zinc	30,3560 \pm 6,0888	26,1566 \pm 2,9733	t=1,07	p>0,05	

Cuando:

p > 0,05 No existe diferencia estadística significativa.

p < 0,05 Existe diferencia estadística significativa.

p < 0,01 Existe diferencia estadística altamente significativa.

Los Datos se presentan como la media \pm error estándar

Tabla 4 reporta que, las plantas del sustrato E, muestran un nivel mayor de Cd, Pb, Cu, Zn, en las raíces en relación con el nivel de concentración encontrados en los tallos y hojas que fueron similares; presentaron diferencias estadísticas significativas (p<0,05) para Cd, Pb, Cu, (p<0,05), al comparar las concentraciones en raíces con relación a los tallos y hojas.

Tabla 4. Contenido de metales pesados Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc bioacumulados en las partes orgánicas durante el 2° mes de crecimiento de la planta crecimiento por grupo de estudio.

Parte orgánica y Metal pesado	Grupo de estudio: Procedencia agua cultivo			Prueba	
	Río Huaura (E)	Control (T)			
	$\bar{x} \pm DE$	$\bar{x} \pm DE$			
Raíz:					
Cadmio	1,4195 \pm 0,0827	1,3752 \pm 0,5471	t=0,14	p>0,05	
Plomo	7,4782 \pm 0,6102	7,2243 \pm 0,6216	t=0,51	p>0,05	
Cobre	21,1220 \pm 2,4090	19,3036 \pm 0,5879	t=1,27	p>0,05	
Zinc	27,9572 \pm 1,5144	17,4502 \pm 2,3760	t=6,46	p<0,01	
Tallo					
Cadmio	1,8457 \pm 0,0782	0,7580 \pm 0,3000	t=6,08	p<0,01	
Plomo	2,1978 \pm 2,4487	1,0488 \pm 0,5280	t=1,03	p>0,05	
Cobre	14,6903 \pm 2,8546	14,6263 \pm 1,5716	t=0,03	p>0,05	
Zinc	22,8405 \pm 1,6667	14,5612 \pm 0,7057	t=7,92	p<0,01	
Hojas					
Cadmio	2,9332 \pm 0,1667	1,2400 \pm 0,1154	t=14,46	p<0,01	
Plomo	3,1700 \pm 1,3040	1,7284 \pm 0,4614	t=2,19	p>0,05	
Cobre	17,7707 \pm 1,0864	15,9843 \pm 0,6800	t=2,41	p>0,05	
Zinc	34,4629 \pm 2,0230	17,8083 \pm 1,0401	t=16,49	p<0,01	

Tabla 5, se observa que la acumulación de Cd, Pb, Cu, Zn, en la raíz del sustrato E es mayor al acumulado de estos cuatro elementos en el sustrato T y al compararlos entre los sustrato E y sustrato T, no hubo diferencia estadística significativa; sin embargo el nivel de concentración de Cd, Pb, Zn en el tallo del sustrato E, fue mayor al compararlo con el sustrato T, que mostraron una diferencias estadísticas significativas (p<0,05), notándose una disminución en el contenido del zinc en relación con el 2do mes (Tabla 4).

Tabla 5. Contenido de metales pesados Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc bioacumulados en las partes orgánicas durante el 3° mes de crecimiento de la planta crecimiento por grupo de estudio.

Parte orgánica y Metal pesado	Grupo de estudio: Procedencia agua cultivo		
	Río Huaura (E)	Control (T)	Prueba
	$\bar{x} \pm DE$	$\bar{x} \pm DE$	
Raíz:			
Cadmio	1,4506 ± 0,0820	1,1842 ± 0,1699	t=2,48 p>0,05
Plomo	8,8349 ± 1,3595	8,2837 ± 0,8484	t=0,60 p>0,05
Cobre	23,1279 ± 2,6401	19,3940 ± 1,8302	t=2,01 p>0,05
Zinc	21,5733 ± 3,6207	17,5966 ± 1,0913	t=1,82 p>0,05
Tallo			
Cadmio	1,7354 ± 0,5540	0,5217 ± 0,1344	t=3,69 p<0,05
Plomo	4,3365 ± 3,6647	2,2253 ± 0,2663	t=1,29 p>0,05
Cobre	17,2055 ± 1,7432	16,1455 ± 0,4693	t=1,02 p>0,05
Zinc	20,1264 ± 1,1321	16,6176 ± 1,8510	t=2,80 p<0,05
Hojas			
Cadmio	0,9606 ± 0,1467	0,5830 ± 0,0501	t=4,22 p<0,05
Plomo	4,8127 ± 0,6100	2,9132 ± 0,7216	t=4,80 p<0,01
Cobre	17,8545 ± 2,4189	16,1264 ± 1,0131	t=1,14 p>0,05
Zinc	24,0367 ± 0,5407	17,0398 ± 0,9659	t=1,83 p>0,05

Tabla 6. se observó que las plantas cultivadas en el sustrato E, el nivel de concentración de Cd, Pb, Cu, Zn, en la raíz, fueron mayores al nivel de concentración de los cuatro elementos metálicos acumulación en la raíz, del sustrato T. no mostraron diferencia estadística significativa a excepción del Cd que presento una diferencia significativa. Los niveles de concentración de Cd, Pb, Cu y Zn en el tallo y Hojas. Al realizar el análisis estadístico mostraron una diferencia estadística significativa (p<0,05) a excepción del plomo en el tallo.

Tabla 6. Contenido de metales pesados Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc bioacumulados en las partes orgánicas durante el 4° mes de crecimiento de la planta crecimiento por grupo de estudio.

Parte orgánica y Metal pesado	Grupo de estudio: Procedencia agua cultivo		
	Río Huaura (E)	Control (T)	Prueba
	$\bar{x} \pm DE$	$\bar{x} \pm DE$	
Raíz:			
Cadmio	1,0248 ± 0,2652	0,4521 ± 0,0601	t=3,65 p<0,05
Plomo	5,2546 ± 1,0494	4,7255 ± 0,3962	t=0,82 p>0,05
Cobre	16,0634 ± 2,5314	13,1868 ± 3,0204	t=1,26 p>0,05
Zinc	17,9608 ± 2,0470	16,4771 ± 0,9993	t=1,13 p>0,05
Tallo			
Cadmio	1,8607 ± 0,4213	0,4091 ± 0,0518	t=5,92 p<0,01
Plomo	3,0529 ± 4,6245	1,1591 ± 0,2578	t=0,77 p>0,05
Cobre	16,9143 ± 2,4125	10,9548 ± 0,6938	t=4,11 p<0,05
Zinc	20,1808 ± 2,6168	15,5112 ± 0,9727	t=2,90 p<0,05
Hojas			
Cadmio	0,9610 ± 0,0117	0,4237 ± 0,0628	t=14,56 p<0,01
Plomo	3,6230 ± 0,4669	1,9259 ± 0,7435	t=4,32 p<0,01
Cobre	18,3416 ± 1,1440	10,6559 ± 0,7469	t=9,74 p<0,01
Zinc	23,9102 ± 1,5363	14,5358 ± 0,1350	t=10,53 p<0,01

Tabla 7, muestra que las plantas del sustrato E, los niveles de concentración Cd, Pb, Cu, Zn fueron mayor que el nivel de concentración de los cuatro metales del sustrato control T, presentando una diferencia estadística significativa (p<0,01) con excepción del Cd, que no presento diferencia estadística significativa. El nivel de concentración de Cd, Pb, Cu, Zn del sustrato E, variaron en el siguiente orden: Zn>Cu>Pb>Cd y el nivel de concentración del Pb, sigue el orden siguiente Raíz>Hojas>tallo. Se debería a la translocación de los metales pesados a las partes orgánicas (Shahid et al., 2012c, 2014d).

Tabla 7. Contenido de metales pesados Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc bioacumulados en las partes orgánicas durante el 5° mes de crecimiento de la planta crecimiento por grupo de estudio

Parte orgánica y Metal pesado	Grupo de estudio: Procedencia agua cultivo		Prueba	
	Río Huaura (E)	Control (T)		
	$\bar{x} \pm DE$	$\bar{x} \pm DE$		
Raíz:				
Cadmio	1,2780 ± 0,3520	0,9856 ± 0,5277	t=1,78	p>0,05
Plomo	7,3686 ± 1,7426	5,5936 ± 2,0063	t=2,59	p<0,05
Cobre	23,4933 ± 7,0841	15,1794 ± 3,9519	t=3,97	p<0,01
Zinc	25,1728 ± 6,5868	17,5120 ± 2,6117	t=4,19	p<0,01
Tallo				
Cadmio	1,5038 ± 0,6428	0,5497 ± 0,1989	t=4,91	p<0,01
Plomo	3,7741 ± 5,0926	1,4734 ± 0,6226	t=1,00	p>0,05
Cobre	22,4567 ± 11,4425	12,9711 ± 2,7210	t=2,79	p<0,05
Zinc	27,0868 ± 13,4174	15,3011 ± 1,3616	t=3,03	p<0,01
Hojas				
Cadmio	1,2838 ± 0,9019	0,8394 ± 0,5081	t=1,66	p>0,05
Plomo	3,5905 ± 5,3725	2,8304 ± 2,8557	t=0,28	p>0,05
Cobre	25,0412 ± 14,3441	13,7536 ± 3,0438	t=15,26	p<0,01
Zinc	28,2639 ± 7,9547	17,7441 ± 4,8756	t=4,37	p<0,01

3.3 Resultados con respecto a la siembra del maíz

Tabla 8. Características del desarrollo de las plantas de maíz durante el tiempo de cultivo experimental y control.

Fecha	Características en el suelo control	Características en suelo experimental
13/06/17	Siembra de maíz amarillo duro	Siembra de maíz amarillo duro
23/06/17	Aparición de primeras plántulas Recién germinadas	Aparición de primeras plántulas Recién germinadas
24/06/17	Porcentaje de germinación 6% plantas color verde Tamaño 4-5 cm.	Porcentaje de germinación 13% Plantas de color verde natural Tamaño 5-7 cm.
31/07/17	Hojas color verde pálidas Presencia de plagas Altura 8-9 cm.	Hojas color natural Presencia de plagas Tamaño 8-10 cm.
17/08/17	Tamaño 35-40 cm	Altura 43-50cm.
17/09/17	Tamaño 75 cm.	Tamaño 76 cm.
17/10/17	Tamaño 157 cm.	Tamaño 156 cm.
17/11/17	Tamaño 170 cm.	Tamaño 160 cm

3.4 Desarrollo de las plantas de maíz

Se regó cada 8 días la sub-parcela experimental (E) con agua de la cuenca baja del río Huaura y a la sub-parcela testigo con agua de caño. El brote de las plántulas se inició a los 10 días, observándose una diferencia de germinación de 87 % en el sustrato E comparado con 94% del sustrato T, durante los primeros 12 días de crecimiento de las plantas no se observaron diferencias en sus tamaños. La medida total de las plántulas fue de 3-5 cm para todos los individuos, a los 90 días las plantas de mayor biomasa y desarrollo en

crecimiento fueron correspondiente al testigo 42,6 cm y al sustrato (E) 39 cm; a los 120 días, las plantas del sustrato testigo 166 cm, Sustrato (E) 146 cm. Observándose un mejor desarrollo las plantas testigo comparado con el sustrato E. Esta afectación se debería posiblemente a las altas concentraciones de Zn y Ca (Pál., 2010., Nazar et al.2012, Amezcua R. y Lara F. 2016) que investigó los efectos provocados por el Ca en maíz y reportó que este elemento induce cambios fisiológicos tales como inhibición del crecimiento, cambios en el metabolismo, inhibición de fotosíntesis, cambios en la actividad enzimática y formación de radicales libres.

3.5 Biomasa seca en los diferentes tejidos de maíz

Tabla 9. Peso de la biomasa mensual de las partes orgánica de la planta de maíz control y experimental

Meses cultivo	Partes orgánicas	Control g/seco	Experimental g/seco
1° mes	Raíz	6,50	4,16
	Parte aérea	20,97	38,33
2°mes	Raíz	16,23	16,09
	Parte aérea	118,00	72,57
3° mes	Raíz	22,08	23,00
	Parte aérea	121,00	130,00
4° mes	Raíz	23,00	20,17
	Parte aérea	125,00	133,00
5° mes	Raíz	55,00	57,18
	Parte aérea	225,00	198,95
		280,00	256,13

En Tabla 9. Se reportan la producción de la materia seca de las distintas partes orgánicas de la planta en los dos tratamientos para cinco meses de estudio, los valores representan el valor medio de las cinco plantas tomadas al azar de cada parcela y están expresadas en gramos de materia seca por planta de maíz. Los datos obtenidos indican que durante el **primer mes**, el sustrato (E) tuvo un mayor valor de 42,49g., comparado con la de testigo que tuvo un peso de 27,47 g. igual sucede en el **tercer mes** y en el **cuarto mes**, sin embargo, en **segundo mes** el sustrato (T) tuvo un mayor peso siendo el valor de 134,23 g., en comparación con el sustrato E, que tuvo un valor de 88,66 g, igual manera en **5to mes** el sustrato (T) tuvo un valor de 280,00 comparado con el sustrato (E) que tuvo un valor de 256,13. La variación de pesos en el primer caso se debería a la presencia de cobre y zinc que actúan como elementos micronutrientes de la planta (Alarcón V., A. 2000, Dubravka Milić, et al., 2012), en lo relacionado a la segunda variación de pesos se debería a la presencia de metales tales como plomo que inhiben el desarrollo de las plantas (Isaza G.,2013) menciona que la toxicidad por plomo inhibe la germinación de las semillas y retarda el crecimiento de las plantas.

3.6 Concentraciones de metales pesados en los tejidos vegetales del maíz

Cadmio (Cd) Los resultados de la acumulación del metal Cd en las plantas durante el tiempo de cultivo reportaron: **Primer mes** (Tabla 3), el sustrato E presento valores en la raíz de $1,67 \pm 0,21$ mg/Kg, hojas $1,18 \pm 0,10$ mg/Kg; el testigo T los valores en la raíz de $1,149 \pm 0,16$ mg/Kg, Hojas $1,57 \pm 0,18$ mg/Kg, no presentaron diferencia significativa. **Segundo mes**, (Tabla 4) se reportaron los valores de asimilación de Cd en sustrato E: raíz $1,41 \pm 0,08$ mg/Kg, Tallo $1,84 \pm 0,08$ mg/Kg, hojas $1,93 \pm 0,16$ mg/Kg, siendo de nivel mayor de concentración que el del testigo (raíz $1,37 \pm 0,54$ mg/Kg, Tallo $0,75 \pm 0,30$ mg/Kg, Hojas $1,24 \pm 0,1$). Tuvieron una mayor significancia el sustrato E con relación al sustrato T, este efecto se produjo por el acumulado del Cd en el suelo, y la translocación en la planta (Souza et al. 2009, Shahid et al. 2012c,2014d), son absorbidos y translocados y acumulados. **Tercer mes** (Tabla 5), Se reportó que el sustrato E presento valores de acumulación en la raíz de $1,45 \pm 0,08$ mg/Kg, tallo $1,73 \pm 0,55$ mg/Kg, hojas $0,96 \pm 0,14$ mg/Kg, y el sustrato control T reportó para raíz $1,18 \pm 0,16$ mg/Kg, tallo $0,52 \pm 0,13$ mg/Kg, hojas $0,58 \pm 0,05$ mg/Kg, presento una mayor significancia con relación al sustrato T. **Cuarto mes** (Tabla 6) los resultados reportaron para el sustrato E una asimilación de Cd, Pb, Cu, Zn en la raíz de $1,02 \pm 0,26$ mg/Kg, tallo $1,86 \pm 0,42$ mg/Kg, hojas $0,96 \pm 0,01$ mg/Kg. El testigo reportó una asimilación para la raíz $0,45 \pm 0,06$ mg/Kg, Tallo $0,40 \pm 0,05$ mg/Kg, hojas $0,42 \pm 0,06$ mg/Kg. se encontró una mayor significancia con relación al control T.

Se debería a la mayor disposición de Cd, en el suelo del sustrato E. **Quinto mes** (Tabla 7) el Cd en el sustrato E se reportó para la raíz $1,28 \pm 0,3520$ mg/kg, tallo $1,5 \pm 0,64$ mg/Kg, hojas $1,3 \pm 0,90$ mg/Kg, el sustrato T reporto para la raíz $0,98 \pm 0,52$ mg/Kg, tallo $0,54 \pm 0,19$ mg/Kg, hojas $0,83 \pm 0,50$ mg/Kg; las plantas del sustrato testigo presentaron los valores más bajos de asimilación. La variación en la acumulación del cadmio en cada sustrato se relaciona con su toxicidad, debido a que el cadmio es un contaminante de cultivos y son absorbidos por las plantas (Chaudri et al. 2000, Isaza, G 2014), produciendo fitotoxicidad.

Plomo. Los resultados de la asimilación del Pb en las partes vegetativa durante el tiempo de crecimiento del maíz reportaron mayores valores ($7,37 \pm 1,74$ mg/kg.) en la raíz del sustrato E, comparado con el sustrato control(T) que fue de $5,59 \pm 2,0063$ mg/Kg. En el tallo la acumulación ($8,77 \pm 0,51$ mg/Kg) fue mayor al del sustrato testigo que presento un acumulado de $4,47 \pm 0,62$ mg/Kg. En cuanto a las hojas del sustrato E muestra una mayor concentración de Pb ($7,59 \pm 5,37$ mg/Kg), esta concentración de Pb no tuvo influencia en el desarrollo y la generación de la biomasa, ya que el desarrollo del sustrato T fue mayor que el sustrato E a pesar que las plantas de E tuvieron mayor acumulación del metal. Con respecto al suelo testigo las plantas asimilaron una menor concentración de Pb en las partes orgánicas: raíz $5,59$ mg/Kg, tallo $4,47$ mg/Kg, hojas $4,83$ mg/Kg, al comparar con el sustrato E, este hecho está relacionado con la concentración inicial del Pb que resulto ser menor en el testigo, presentando como consecuencia un mayor desarrollo en el crecimiento de la raíz, tallo y hojas. Las concentraciones de Pb en suelos para cultivos agronómicos ($0,5-10$ mg/Kg.) se encuentran dentro del intervalo de tolerancia de este metal reportado por (Kabata-Pendias 2001) e indica que se considera elemento tóxico dentro de las concentraciones de $30-300$ mg/Kg.

Cobre. Los resultados del Cu en las partes vegetativas de las plantas de experimental (E) y control (T), mostraron que la raíz presento valores de $23,49$ mg/Kg, de mayor concentración que el testigo. La concentración en el tallo fue de $22,46 \pm 11,44$ mg/Kg, mayor que la del testigo que presento una asimilación de $12,97 \pm 2,72$ mg/Kg. En cuanto a las hojas del sustrato E, presento una mayor concentración de Cu ($25,04 \pm 13,75$ mg/Kg), esta concentración no tuvo influencia en el desarrollo y la generación de la biomasa. Con respecto al suelo testigo las plantas asimilaron una menor concentración de Cu en las partes orgánicas: raíz $15,18$ mg/Kg, tallo $12,97$ mg/Kg, hojas $13,75$ mg/Kg, al comparar con el sustrato E, este efecto está relacionado con la concentración inicial del Cu que resulto ser menor en el testigo, presentando como consecuencia un menor desarrollo en el crecimiento de la raíz, tallo y hojas durante los dos primeros meses. Las concentraciones de Cu en las hojas se encuentran dentro del intervalo de tolerancia de este metal reportado por (Kabata-Pendias, 2000). En suelos, el metal Cu por ser un elemento nutritivo para el desarrollo y crecimiento de las plantas dentro del intervalo de $50-100$ mg/Kg, se encuentra entre los rangos máximos aceptables y no se consideran fitotóxicos.

Zinc (Zn), considerado como micronutriente esencial para las plantas, requeridos en cantidades relativamente bajas, en altas concentraciones resulta tóxico (Dubravka Milić, et al., 2012). De los resultados, el nivel de concentración del Zn en las partes vegetativas del experimental (E), reportó, mayor valor ($25,17 \pm 6,59$ mg/Kg) comparado con el del control (T) que presento un valor de $17,51 \pm 2,61$ mg/Kg en la raíz. En el tallo la acumulación fue de $27,09 \pm 13,42$ mg/Kg mayor a la de testigo ($15,30 \pm 1,36$ mg/Kg). En cuanto a las hojas del sustrato E muestra una mayor concentración de Zn ($28,26 \pm 7,95$ mg/Kg), esta concentración no influyó en el desarrollo y la generación de la biomasa, ya que el desarrollo de las plantas del sustrato T fue mayor que del sustrato E a pesar que, las plantas de E tuvieron mayor acumulación del metal. Con respecto al suelo testigo las plantas asimilaron una menor concentración de Zn en las partes orgánicas (raíz $17,51$ mg/Kg, tallo $15,30$ mg/Kg, hojas $17,74$ mg/Kg) al comparar con el sustrato, este efecto está relacionado con la concentración inicial del Zn que resulto ser menor en el testigo, presentando como consecuencia un mayor desarrollo en el crecimiento de la raíz, tallo y hojas. Las concentraciones de Zn en las hojas se encuentran dentro del intervalo de tolerancia de este metal reportado por (Kabata-Pendias, 2001).

3.7 Efectos en la planta

En el desarrollo de la planta de maíz se aprecian diferencias características (tabla 8), en cuanto a la germinación de las semillas, el sustrato E regadas con agua de la cuenca baja del rio Huaura, mostro un mayor porcentaje de germinación (94%) que la del control que tuvo un porcentaje de 83%, mostrando una diferencia en relación con la del sustrato E. Las hojas presentaron un color verde natural durante su desarrollo, diferenciándose con las hojas del control que presentaron un color verde claro y su desarrollo fue muy lento durante los dos primeros meses, este desarrollo normal debe estar relacionado con los micronutrientes existente en el agua de riego de la cuenca del río Huaura. La biomasa seca tubo una diferencia significativa entre las plantas tratadas con agua de riego de la cuenca baja del rio Huaura con la del testigo. La altura de la parte aérea del sustrato E fue menor comparándolo con la del sustrato control; de esta manera la disminución de la biomasa está relacionada con la altura del maíz. (Vangronvueld et al. 2009), y se debería a la presencia

de Cd y Pb que inhibe el crecimiento y disminuye la biomasa de las plantas.

No se aprecian síntomas de toxicidad, ni deficiencia en el cultivo desarrollado con agua de riego de la cuenca baja del río Huaura.

3.8 Características morfológicas de las plantas de maíz

Los resultados de la biomasa seca tubo una diferencia significativa entre las plantas del sustrato E, tratadas con agua de riego de la cuenca baja del rio Huaura comparando con la del sustrato T. (Tabla 13). La altura de la parte aérea del sustrato E disminuyo ligeramente en relación con las plantas del sustrato control. De esta manera la disminución de la biomasa está relacionada con la altura del maíz. Tabla 8.

4. CONCLUSIONES

El aumento general obtenido en el contenido de Cd, Pb, Cu y Zn en las plantas de maíz cultivadas con agua de la cuenca baja del río Huara, constata el efecto de absorción y acumulación en sus partes vegetativas, no encontrándose anomalías en su fisiología o desarrollo. Sin embargo, la misma aplicación de riego en el cultivo de las plantas de maíz tuvo un efecto diferencial en la altura de la planta con la de control regado con agua potable. Las especificaciones de crecimiento con la aplicación de aguas con contenido de metales pesados deben estar relacionados con el metabolismo propio de la especie estudiada y con la capacidad de utilizar los aportes de metales nutrientes o de soportar la elevada acumulación de metales contenidos en el agua de riego. Las concentraciones de Cd, Pb, Cu, Zn, en los suelos se incrementaron con los contenidos en el agua de riego de la cuenca baja del río Huaura, no obstante, los valores de metales pesados se mantuvieron por debajo de los límites descritos en la legislación vigente holandesa (19/05/1999). Incluso el incremento de los niveles de Cu y Zn, ocasionados por la aplicación en el cultivo el agua de riego de la cuenca baja del río Huaura, pueden resultar beneficiosos, puesto que constituyen micronutrientes beneficiarios en este tipo de suelos francamente arenosos. La acumulación de metales Cd, Pb, Cu, Zn, en las plantas aumento con la aplicación del agua de riego de la cuenca baja del rio Huaura, durante el tiempo del cultivo, tanto en la parte aérea como en la raíz, esto puede ser debido a que el agua de riego de la cuenca baja del rio Huaura introduce material orgánica en el suelo, el cual retiene los cationes metálicos formando compuestos de elevada solubilidad, y permite el aumento de la disponibilidad de los metales para ser absorbidos por las plantas de maíz. lo mismo sucede con el pH del agua que al regar los suelos cambia su pH convirtiendo lo metales en iones metálicos disponibles en ser absorbidos por las plantas. El agua de riego de la cuenca baja del río contiene metales pesados cadmio, plomo, cobre y zinc por debajo de los límites máximos permisibles de la norma peruana vigente (D.S. N° 015-2015-MINAM), a excepción del cadmio que sobre pasa los límites máximos permisibles de dicha norma. La información generada por la presente investigación debería ser considerada por las autoridades para promover que se puedan realizar pruebas similares para un monitoreo mensual de la contaminación del agua de la cuenca del rio Huaura, los sedimentos y en especial los cultivos que puedan afectar a los animales y a la persona humana. Igualmente realizar estudios de contaminación con alimentos de larga duración como ejemplo caña de azúcar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, V. A. 2000. Nutrición mineral: Elementos esenciales y dinámica en el sistema suelo-planta. En: Tecnología para cultivos de alto rendimiento. p. 109-129.
- Alkorta, I.; Becerril, I.; Garbisu, C. 2010. Phytostabilization of metal contaminated soils. Reviews on Environmental Health, 25: 135–146. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1515/RE-VEH.2010.25.2.135>
- Amezcuca, R.; Lara, F. 2016. El zinc en las plantas. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 35 pp.
- Bouazizi, H.; Jouili, H.; Geitmann, A.; El Ferjani, E. 2010. Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. Ecotoxicol. Env. Saf. 73: 1304-1308.
- Cambrolle, J.; Mateos-Naranjo E.; Redondo-Gómez, S.; Luque, T.; Figueroa, ME. 2011. Growth, reproductive and photosynthetic responses to copper in the yellow-horned poppy, *Glaucium flavum* Crantz. Environ Exp. Bot 71:57–64
- Chaudri, A.M.; Allain, C.M.; Barbosa-Jefferson, V.L.; Nich- Olson, F.A.; Chambers, B. J.; McGrath, S.P. 2000. A study of the impacts of Zn and Cu on two rhizobial species in soils of a long term field experiment. Plant Soil. 22, 167-179.

- Chigbo, C.; Batty, L.; Bartelett, R. 2012. Interacciones de cobre y pireno en el potencial de fitorremediación de Brassica juncea en suelo contaminado con cobre-pireno. Universidad de Birmingham, Reino Unido.
- Corzo, R. 2015. Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac Distrito de San Mateo de Huanchor, (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. pp.
- Faroon, O.; Ashizawa, A.; Wright S, et al. Toxicological Profile for Cadmium. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012 Sep. 1, PUBLIC HEALTH STATEMENT. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158840/>
- Flores, K. M.; Arroyo, V. S.; Ortiz, L. B.; Quiroz., L. E. 2013. Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. Acta Toxicológica Argentina, 33-49
- Guala, SD.; Veg, FA.; Covelo, EF. 2010. The dynamics of heavy metals in plant–soil interactions. Ecological Modelling. Pp. 221:1148–1152
- Isaza, G. 2013. Efecto del plomo sobre la imbibición, germinación y crecimiento de Phaseolus vulgaris L. y Zea mays L. Colombia. Disponible en <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/114/472>
- Kabata - Pendias, A. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. Third Edition Prensa CRC, Boca Raton. London New York Washington, D.C. pp. 88 -99.
- Lara, V.; Ventura, M.; Muhammad, E.; Rodríguez, O.; Vargas, M.; Landero, V. 2013. Contenido de Cd y Pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el valle del mezquital, Hidalgo, México.
- Lehotai, N.; Peto, A.; Weisz, M.; Erdei, L.; Kolbert, Z. 2011. Generation of reactive oxygen and nitrogen species in pea cultivars under copper exposure. Acta Biol. Szeged. 55: 273-278.
- Lequeux, H.; Hermans, C.; Lutts, S.; Verbruggen, N. 2010. Response to copper excess in Arabidopsis thaliana: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile. Plant Physiol. Biochem. 48: 673-682.
- Mendieta, W.; Taisigüe, L. 2014. Acumulación y translocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua pp.12.
- Milić, D.; Luković, J.; Ninkov, J.; Zeremski-Škorić, T.; Zorić, L.; Vasin, V.; Milić, S. 2012. Heavy metal content in halophytic plants from inland and maritime saline areas. Central European Journal of Biology 7(2): 307-317.
- Ministerio de agricultura-ANA 2013. Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en La Cuenca Del Río Huaura, Lima Perú
- Ministerio de Agricultura y Riego-ANA (D.J. 010-2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales, Lima Perú. pp. 16
- Ministerio del Ambiente (D.S. 002-2013), Guía para muestreo de suelos, Lima Perú. pp 39.
- Ministerio de Energía y Minas 2010. Estudio de la Evaluación Ambiental Territorial y planificación de la contaminación en el rio Huaura. Lima, Perú
- Nazar, R.; Iqbal, N.; Masood, A.; Iqbal, M.; Khan, R.; Syeed, S.; Khan, NA. 2012. Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. Am J Plant Sci 3:1476–1489
- Pál, M.; Horváth, E.; Janda, T.; Páldi, E.; Szalai, G. 2006. Physiological changes and defense mechanisms induced by cadmium stress in maize. J. Plant. Nutr. Soil Sci. 169, 239-246.
- Park, JH.; Lamb, D.; Paneerselvam, P.; Choppala, G.; Bolan, N.; Chung, J-W 2011. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. J Hazard Mater 185:549–574
- Pauget, B.; Gimbert, F.; Scheifler, R.; Coeurdassier, M.; de Vauffleury, A. 2012. Soil parameters are key factors to predict metal bioavailability to snails based on chemical extractant data. Sci Total Environ 431:413–425
- Pérez-Cruz, Y.; G. Rangel-Ruiz, L.; Gamboa-Aguilar, J. 2013. Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biosfera “Pantanos de Centla” Tabasco, México. Hidrobiológica, 23(1), 1-8.
- Qaisar, M.; Audil, R.; A., Sehikh, Muhammad A.; Muhammad, B. 2012. Current Status of Toxic Metals Addition to Environment and Its Consequences. COMSATS University Islamabad.

- Rascio, N. 2011. Heavy metal accumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant science*. 180: 169-181
- Reyes, Y.; Vergara, I.; Torres, O.; Diaz, M.; González, E. 2012. Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, (Sogamoso-Boyacá), Colombia.
- Requeme, J.; Pinedo H.; Marrugo N.; Aparicio. 2015. Metales pesados en suelos agrícolas del valle medio y bajo del río Sinú, departamento de Córdoba, Montería Colombia.
- Ruiz, H.; Armenta, H. 2012. Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. (Posgrado en Ciencias de la Tierra), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Sarwar, N.; Imram, M.; Shaheen, M.; Ishaque S. W.; Hussain, S. 2017. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. *Chemosphere*, 171, 710-721.
- Sanità di Toppi, L.; Gabbrielli, R. 2000. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany* 41:105-130.
- Shahid, M.; Dumat, C.; Silvestre, J.; Pinelli, E. 2012c. Effect of fulvic acids on lead-induced oxidative Stress to metal sensitive *Vicia faba* L. plant. *Biol Fertil Soils* 48:689–697
- Shahid, M.; Austruy, A.; Echevarria, G.; Arshad, M.; Sanaulah, M.; Aslam, M.; Nadeem, M.; Nasim, W.; Dumat C 2014b. EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metals: a review. *Soil Sediment Contam.* 23:389–41
- Shahid, M.; Pinelli, E.; Pourrut, B.; Dumat C. 2014d. Effect of organic ligands on lead-induced oxidative damage and enhanced antioxidant defense in the leaves of *Vicia faba* plants. *J Geochem Explor.* 144:282–289
- Soudek, P.; Petrová, S.; Vanková, R.; Song, J.; Vanek, T. 2014. Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. *Chemosphere* 104:15–24
- Vangronsveld, J.; Herzig, R.; Weyens, N.; Boulet, J.; Adriaensen, K.; Ruttens, A., et al. 2009. Phytoremediation of contaminated soils and groundwater: lessons from the field. *Environ Sci Pollut Res Int*; 16:765-794.
- Waisberg, M.; Joseph, P.; Hale, B.; Beyersmann, D. Molecular and celular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology*, 3(4), 2013, p. 95-117
- Zhang, H.; Zhang, F.; Xia, Y.; Wang, G.; Shen, Z. 2010. Excess copper induces production of hydrogen peroxide in the leaf of *Elsholtzia haichowensis* through apoplastic and symplastic CuZn-superoxide dismutase. *J. Haz. Mat.* 178: 834-843.
- Zhao, S.; Liu, Q.; Qi, Y.; Duo, L. 2010. Responses of root growth and protective enzymes to copper stress in turfgrass. *Acta Biol. Crac. Ser. Bot.* 52: 7-11.