

Heavy metals in lettuce and chard leaves from urban agriculture in Miraflores. Is it safe to consume?

Daniel Priale Reátegui¹; Jorge Achata Böttger²

¹Peruvian University of Applied Sciences, Perú, daniel.priale@upc.pe

² Peruvian University of Applied Sciences, Perú, pcigjach@upc.edu.pe

Abstract– Urban agriculture is an activity that generates global interest because of the benefits it purportedly brings to food systems. However, urban air quality can jeopardize the safety of urban crops due to the accumulation of heavy metals in the edible parts of plants. To do this, we grow the species *Lactuca sativa* and *Beta vulgaris* var. *Cicla* on balconies, terraces and parks in the district of Miraflores, Lima, Perú, the lead (Pb) and cadmium (Cd) leaf contents were compared with the limits recommended by international organizations, and the Estimated Daily Intake (EDI) indicator was estimated. The edible leaves had negligible concentrations of lead, but cadmium was found to be above the expected quality threshold for leafy vegetables established in the Codex Alimentarius.

Keywords-- Urban agriculture; Urban pollutants; Biomonitoring; Cadmium.

Metales pesados en hojas de lechuga y acelga procedentes de la agricultura urbana en Miraflores.

¿Es seguro consumirlo?

Daniel Priale Reátegui¹; Jorge Achata Böttger²

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, daniel.priale@upc.pe

²Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, pcigjach@upc.edu.pe

Resumen— La agricultura urbana es una actividad que genera interés mundial por los beneficios que supuestamente brinda a los sistemas alimentarios. Sin embargo, la calidad del aire urbano puede poner en peligro la inocuidad de los cultivos urbanos debido a la acumulación de metales pesados en las partes comestibles de las plantas. Para ello, cultivamos las especies *Lactuca sativa* y *Beta vulgaris* var. Cicla en balcones, terrazas y parques del distrito de Miraflores, Lima, Perú, se comparó la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) presentes en las hojas con los límites recomendados por organismos internacionales, y se estimó el indicador de Ingesta Diaria Estimada (EDI). Las hojas comestibles presentaron concentraciones insignificantes de Pb, pero se encontró Cd por encima del umbral de calidad esperado para las hortalizas de hoja establecido en el Codex Alimentarius.

Palabras clave—Agricultura urbana; Contaminantes urbanos; Biomonitorio; Cd.

I. INTRODUCCIÓN

Más de 55% de la población mundial vive en ciudades, y se proyecta que será 68% el 2050. Los alimentos que consumen los habitantes urbanos son producidos en zonas rurales, no en las mismas ciudades [1]. En ese contexto, la agricultura urbana se consolidó como una práctica creciente debido a los diversos beneficios ambientales, sociales y económicos, como la mejora de la seguridad alimentaria y la reducción del efecto de islas de calor urbanas [2]. Sin embargo, el crecimiento de la población urbana a nivel global ha generado consigo un incremento en la contaminación del aire, constituyéndose en un problema de salud pública significativo [3]. En Latinoamérica más de trescientos millones de habitantes urbanos están expuestos a niveles de material particulado fino (PM_{2.5}) en el aire que exceden los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para calidad del aire urbano [4], por lo que es necesario evaluar el riesgo de exposición relacionado con la contaminación del aire en las ciudades y la biodisponibilidad de contaminantes atmosféricos como los metales pesados en los productos de la agricultura urbana.

En las ciudades más pobladas de España y Portugal, la concentración de metales pesados en hortalizas producidas en huertos urbanos y los suelos usados para producirlas excedieron los límites recomendados por su exposición a diferentes fuentes de contaminación [5], [6]. Por ejemplo, en Sheffield, Inglaterra, donde la industria siderúrgica data de inicios de la revolución industrial, los niveles de Pb exceden 11,000 mg kg⁻¹ en los 50

cm superiores de suelo en jardines domésticos, excediendo el valor de referencia del suelo para uso de suelo residencial con absorción de plantas establecido por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA), de 450 mg kg⁻¹ [7]. Otro factor relevante al momento de analizar las fuentes metales pesados, es la densidad del tráfico vehicular, ya que, ante una mayor carga de tráfico, el contenido de metales en los cultivos aumenta [8].

En la Tabla I, se puede observar diversos resultados obtenidos en investigaciones similares, en las cuales se hace uso del monitoreo con especies vegetales de huertos urbanos para evaluar el riesgo de contaminación por metales pesados derivados de la contaminación en las ciudades.

TABLA I
CONCENTRACIONES PROMEDIO DE Pb Y Cd ENCONTRADAS EN PARTES
COMESTIBLES DE LECHUGA Y ACELGA EN OTROS ESTUDIOS

Vegetal	Pb (mg kg ⁻¹) Promedio ± SD ^a	Cd (mg kg ⁻¹) Promedio ± SD ^a	Entorno	Ciudad	Referencia
Lechuga	0.39 ± 0.02	0.00 ± 0.00	Urbano	Moscú, Rusia	[37]
Lechuga	0.08 ± 0.02	0.02 ± 0.00	Periurbano	Banat County, Rumania	[38]
Lechuga	0.48 ± ND ^{ab}	0.08 ± ND ^{ab}	Urbano	São Paulo, Brasil	[39]
Lechuga	3.00 ± 3.4	0.11 ± 0.08	Urbano	São Paulo, Brasil	[40]
Lechuga	3.14 ± 2.35	0.58 ± 0.16	Urbano	Sevilla, España	[41]
Acelga	0.13 ± 10.3	0.07 ± 5.07	Urbano	Kurdistan, Iraq	[32]
Acelga	0.58 ± ND ^{ab}	0.05 ± ND ^{ab}	Urbano	São Paulo, Brasil	[39]
Acelga	5.30 ± ND ^{ab}	0.31 ± ND ^{ab}	Urbano	Berlín, Alemania	[36]

^aSD=Desviación estándar

^bND=Desviación estándar no disponible.

En Latinoamérica, Lima es la sexta ciudad más poblada, después de São Paulo, Ciudad de México, Buenos Aires, Río de Janeiro y Bogotá [9]. Como consecuencia del aumento de la población, el área urbana se ha ido incrementando, pasando de 639,5 km² en el año 1981 a 840 km² en el 2007, y se espera que esta tendencia continúe a una razón de 16,5 km² por año. Esta

expansión se ha venido dando de dos formas, el crecimiento expansivo (uso de nuevo suelo de las periferias) y el crecimiento intensivo (vertical), ambas acompañadas de un cambio de uso de suelo, pasando de suelo agrícola a casco urbano [10]. Asimismo, Lima es la ciudad de Latinoamérica con menor calidad del aire de todas, se estima que de reducirse los niveles de $PM_{2.5}$ encontrados desde el año 2019, los limeños podrían ganar un total de 4,7 años de expectativa de vida [4]. Si bien no se tiene un registro oficial de la cantidad de distritos en Lima metropolitana que han establecido o implementado prácticas de agricultura urbana, se puede estimar en base a publicaciones realizadas por ONGs dedicadas al tema y las municipalidades, qué distritos han implementado algún tipo de proyecto de agricultura urbana, tales como huertos urbanos [11], [12]. Pero pese a todo ello, en ningún distrito de la ciudad se han realizado estudios que demuestren la seguridad alimentaria de la agricultura urbana como práctica.

Es por ello, que el estudio tiene como objetivos cuantificar la cantidad de Pb y Cd en productos de agricultura urbana en el distrito de Miraflores, Lima, Perú; comparar las concentraciones de Pb y Cd en las hojas de lechuga y acelga en Miraflores con estándares internacionales; y contextualizar el potencial de consumo de Cd y Pb asociados a productos de agricultura urbana en Miraflores.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en cinco locaciones, cuatro en las zonas vecinales 9, 10, 11 y 13 del distrito de Miraflores, y una en el distrito de Surquillo, Lima, Perú. Se seleccionó locaciones en las que se conduzca o fuese viable conducir actividades de agricultura urbana, y que sean accesibles para la ejecución del estudio (Tabla II).

Se cultivó lechuga y acelga a razón de tres plantas por maceta en 10 macetas por cada especie. Las macetas de 50 cm de largo y 18,6 cm de ancho se prepararon con un total de 3 kg de suelo preparado comercial. Con el fin de evitar otras fuentes de contaminación y absorción de metales pesados por parte de las plantas, el suelo se caracterizó siguiendo métodos estandarizados; la conductividad eléctrica (CE) se midió en extracto de relación suelo-agua 1:1, el pH se midió con potenciómetro en pasta saturada en relación 1:1 suelo-agua, la materia orgánica se midió siguiendo el método de Walkley y Black, el potasio disponible (K) siguiendo el método de extracción con acetato de amonio 1N (pH 7,0), el fósforo (P) siguiendo el método de Olsen Modificado, y el contenido calcáreo total ($CaCO_3$) con el método gas volumétrico. En todas las muestras de suelo, foliar y agua, se midió el contenido de Pb y Cd con el método de espectrofotometría de absorción atómica, con un límite de detección de $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ para Pb y de $0,012 \text{ mg kg}^{-1}$ para Cd.

Las plantas se regaron con agua potable de la red pública dos veces por semana, hasta saturar el suelo. Las plantas de lechuga

se cultivaron por 45 días, y las de acelga por 30 días. Se tomó 600 gr de hojas por cada muestra cada 15 días. Las muestras fueron secadas a 40°C durante 48 horas y molidas a 1 mm. Se midió contenido de Pb y Cd con el mismo método usado para suelo. Se tomaron muestras de suelo tanto al inicio como al final del periodo de monitoreo para cada punto.

TABLA II
DESCRIPCIÓN DE UBICACIONES ESCOGIDAS PARA EL MONITOREO

Locación	Parque Bicentenario (PB)	Parque Reducto N°2 (PR)	Colegio Nacional Federico Villarreal (CN)	Edificio Corporativo (EC)	Sitio de Referencia (SR)
Ubicación	Miraflores	Miraflores	Miraflores	Miraflores	Surquillo
Coordenadas	12°8'14.154"S 77°1'36.712"W	12°7'47.62"S 77°1'48.307"W	12°7'30.512"S 77°0'17.007"W	12°7'35.714"S 77°1'19.223"W	12°06'47.8"S 77°00'05.7"W
Altura	Al nivel del suelo	Al nivel del suelo	Al nivel del suelo	4to Piso – 10 m	Al nivel del suelo
Distancia a la calle	3m	25m	20m	20m	15m
Infraestructuras cercanas	-Av. Armendáriz -Malecón de la Reserva	-Vía Expresa Av. Paseo de la República -Colegio Nuestra Señora del Carmen -Av. Alfredo Benavides	-Av. Tomas Marsano	-Av. José Larco -Centro Comercial Larcomar	-Av. Angamos -Av. Aviación -Centro Comercial Real Plaza Primavera -Pollerías

Se descargó una serie de datos de material particulado en aire de la estación meteorológica pública “San Borja” del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) ($12^\circ 6' 31.94''$ S $77^\circ 0' 27.68''$ O 128 m.s.n.m.) ubicada entre 5 y 1,5 km NNE de las locaciones del estudio, desde 01/12/22 a 31/01/23.

Se tomó como indicador de referencia la ingesta diaria tolerable (IDT), el cual es una estimación de la cantidad máxima de un contaminante presente en los alimentos o en la bebida, que puede ser ingerida durante toda la vida de manera diaria sin que haya algún tipo de riesgo para la salud apreciable [13]. Si una persona consume alimentos que excedan la IDT, tendría que ser motivo de preocupación siempre y cuando se trate de un consumo diario que se dé durante un largo periodo de tiempo. Para calcular la IDT, se suele utilizar la fórmula (1).

$$IDT = \left(\frac{NOAEL \text{ o } LOAEL}{FI} \right) \quad (1)$$

Donde:

NOAEL = Mayor nivel de exposición sin efecto adverso observado (No Observed Adverse Effect Level por sus siglas en ingles).

LOAEL = Menor nivel de exposición al que un efecto adverso es observado (Lowest Observed Adverse Effect Level por sus siglas en ingles).

FI = Factor de Incertidumbre.

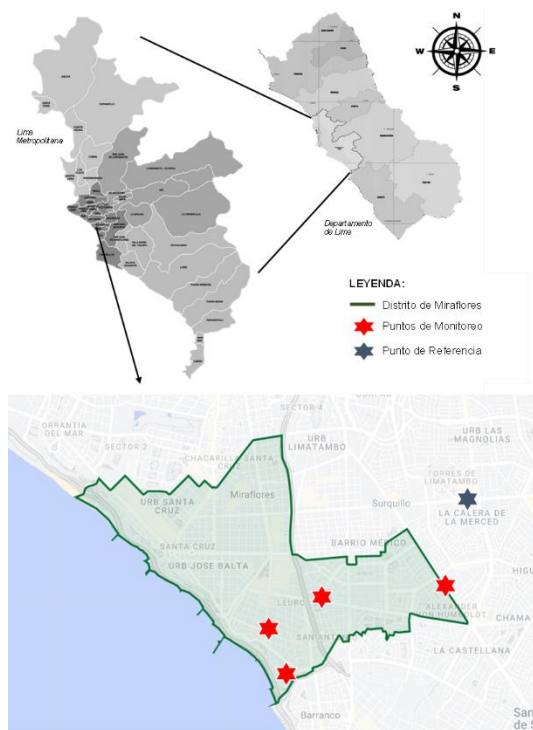


Fig. 1 Mapa del sitio de muestreo, Miraflores, Lima, Lima.

Para el Cd, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) estableció una TWI (tolerable weekly intake) de 2,5 $\mu\text{g kg}^{-1}$ peso corporal. [14]; mientras que, para el Pb, se calculó el límite de seguridad de dosis de referencia (BMDL₀₁) de Pb, cuyo menor valor es de 0,5 μg por kg de peso corporal y día. Se consideró una masa corporal promedio de 60 kg, por lo que la IDT para el Cd y el Pb calculadas fueron 21,4 μg y 30 μg diarios [15], [16], [17].

En contraste, la ingesta diaria estimada (EDI) (2) se realiza en función de la concentración del metal pesado analizado en la planta en $\mu\text{g g}^{-1}$ peso fresco (C_{metal}), el consumo diario promedio ($D_{\text{food intake}}$) y el peso promedio ($B_{\text{average weight}}$).

$$EDI = \frac{C_{\text{metal}} \times D_{\text{food intake}}}{B_{\text{average weight}}} \quad (2)$$

De esta forma, se estimó la exposición de una población a contaminantes como el Pb y el Cd, y posteriormente compararlos con los valores de la IDT para evaluar el riesgo de exposición. Asimismo, a partir de (2), también es posible estimar la cantidad máxima diaria de un alimento ($D_{\text{food intake}}$) que es posible ingerir sin exceder los valores del IDT (3).

$$D_{\text{food intake}} = \frac{IDT \times B_{\text{average weight}}}{C_{\text{metal}}} \quad (3)$$

La encuesta fue dirigida sólo a personas que consuman lechuga y/o acelga, y su objetivo fue estimar la Ingesta Diaria Estimada (EDI) de ambos metales pesados a través del consumo de lechuga y acelga. Es por ello, que estuvo orientada sólo a vecinos de Miraflores que, como parte de su dieta ordinaria, consuman alguna de las dos especies en el contexto local. Las preguntas de la encuesta fueron de tipo cerrado y el tipo de muestreo fue deliberado, ya que se seleccionó sólo a personas que consuman lechuga y/o acelga.

III. RESULTADOS

Aunque el suelo califica como “altamente salino” para usos agrícolas por presentar CE entre 8 y 16 dS m^{-1} , las otras variables se hallaron dentro del rango adecuado para el cultivo de alimentos (Tabla III). El contenido de Pb y Cd se hallaron por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) nacional para suelo agrícola (Pb > 70 mg kg^{-1} , Cd > 1,4 mg kg^{-1}) y residencial (Pb > 140 mg kg^{-1} , Cd > 10 mg kg^{-1}) [18].

TABLA III
CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO

C.E. dS m^{-1} 1:1	pH 1:1	Materia Orgánica %	P mg kg^{-1}	K mg kg^{-1}	CaCO ₃ %
11,40	7,17	11,75	158,17	3800	1,26

El Colegio Nacional Federico Villarreal (CN), es la única locación en el que se detectó una concentración de Pb en exceso con respecto al ECA para suelos agrícolas (Tabla IV). Los niveles de Pb y Cd en el agua usada para riego estuvieron por debajo de los valores máximos admisibles establecidos en la norma técnica peruana NTP 214.003 para agua potable [19] (Pb > 0,05 mg/l, Cd > 0,005 mg/l) y del ECA nacional de agua para riego de vegetales (Pb > 0,05 mg/l, Cd > 0,01 mg/l) (Tabla V).

TABLA IV
CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL DE Pb Y Cd EN EL SUELO

Metal	Conc. Inicial	Conc. Final				
		PB ^a	PR ^b	CN ^c	EC ^d	SR ^e
Pb mg kg^{-1}	34,84	38.69	24.20	86.48	36.88	29.40
Cd mg kg^{-1}	0,00	0.35	0.12	0.29	0.18	0,00

^aParque Bicentenario, ^bParque Reducto N°2, ^cColegio Nacional Federico Villarreal, ^dEdificio Corporativo, ^eSitio de Referencia

Los niveles de PM₁₀ reportados se mantuvieron por debajo del ECA para aire (100 $\mu\text{g m}^{-3}$) durante el periodo del estudio. Sin embargo, los niveles de PM₁₀ excedieron consistentemente la recomendación de la OMS (Fig. 2).

En el caso del Pb en lechuga, para las ubicaciones PB, PR, CN y EC, no se encontraron valores que excedan los límites recomendados por el Codex Alimentarius (CXS 193-1995) [20] y el Reglamento (CE) N° 1881/2006 de la Comisión [21] para hortalizas de hojas, ambos de 0,3 mg kg⁻¹, en todas las fechas de medición. El único sitio que registró un valor por encima del límite, fue SR, con un valor de 0,98 mg kg⁻¹ para la tercera fecha de medición, tres veces mayor al límite recomendado. Por otro lado, en el caso del Cd en lechuga sí hubo fechas en las cuales algunas de las ubicaciones excedieron los límites recomendados, de 0,2 mg kg⁻¹. Teniendo así que, de los sitios que excedieron el límite, el valor más bajo registrado fue 3,75 mg kg⁻¹ en la segunda fecha en EC, un valor dieciocho veces mayor al recomendado; y el más alto registrado de 5,52 mg kg⁻¹ en la segunda fecha en CN, un valor veintisiete veces mayor al recomendado (Tabla VI).

TABLA V
CONCENTRACIÓN DE Pb Y Cd EN EL AGUA UTILIZADA PARA RIEGO

Metal	Concentración mg/L	Valor máximo admisible mg/L	ECA ^b Riego de vegetales mg/L
Pb	0	0,05 ^a	0,05
Cd	0	0,005 ^a	0,01

^aValor establecido en la NTP 214.003:1987 (Rev. 2014)

^bEstándar de Calidad Ambiental para agua D.S.004-2017-MINAM

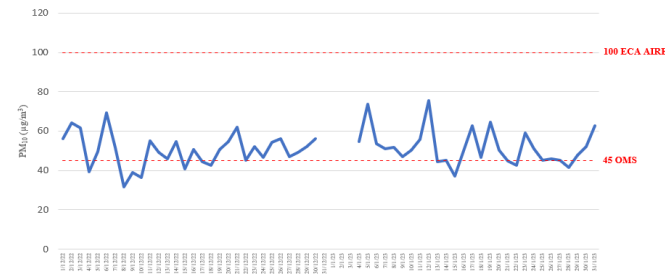


Fig. 2 Concentración diaria de material particulado inferior a 10 micras (PM₁₀) en la estación de medición San Borja durante el monitoreo (diciembre-enero).

TABLA VI
CONCENTRACIÓN DE Pb Y Cd EN HOJAS DE LECHUGA Y ACELGA DE CADA SITIO DE MUESTREO

Metal	Muestra	Cultivo	Ubicación				
			PB	PR	CN	EC	SR
Pb mg kg ⁻¹	1 ^{ra} (30/12/2022)	Lechuga	0	0	0	0	0
	2 ^{da} (15/01/2023)	Lechuga	0	0	0	0	0
		Acelga	0	0	0	0	0
	3 ^a (31/01/2023)	Lechuga	0	0	0	0	0,98
		Acelga	0	0	0	0	3,64
Cd mg kg ⁻¹	1 ^{ra} (30/12/2022)	Lechuga	0	0	0	4,00	0
	2 ^{da} (15/01/2023)	Lechuga	0	5,52	0	3,75	0
		Acelga	0	0,40	0,30	0,54	0,79
	3 ^a (31/01/2023)	Lechuga	4,89	0	5,88	0	5,02
		Acelga	3,53	3,61	3,36	2,50	3,14

En el caso del Pb en acelga, el único sitio que registró un valor muy por encima del límite, fue SR, con un valor de 3,64 mg kg⁻¹ para la segunda fecha de medición, doce veces mayor al límite recomendado. Por otro lado, en el caso del Cd en acelga para las ubicaciones PR, CN, EC y el SR, en todas las fechas se excedieron los límites recomendados para hortalizas de hojas, de 0,2 mg kg⁻¹ para ambos. Teniendo así que el valor más bajo registrado fue de 0,3 mg kg⁻¹ en la primera fecha de CN; y el valor más alto registrado fue de 3,61 mg kg⁻¹ en la segunda fecha de PR, un valor dieciocho veces mayor al recomendado. Sólo PB presentó un valor elevado en una de las dos fechas, teniendo así que en la primera fecha registró el valor más bajo (Tabla VI). Por último, cabe resaltar que posterior a la primera fecha de medición, en todas las ubicaciones, hubo un incremento de entre 4 a 11 veces el valor obtenido inicialmente.

De la encuesta, la masa corporal de las personas encuestadas que residen en el distrito de Miraflores estuvo entre 51 y 59 kg. Cerca del 80% de los encuestados consume entre 0,5 y 1 kg de lechuga por semana, distribuyéndola entre uno a cuatro días, mientras que el 90% no suele consumir acelga o lo hace sólo una vez a la semana, en un estimado de 120 gr (Fig. 3 y Fig. 4).

Con los resultados obtenidos de la concentración de Pb y Cd en hojas para las locaciones del distrito de Miraflores, y los datos de consumo diario promedio y peso promedio obtenidos de la encuesta realizada, se calculó que la EDI de Pb para el consumo de lechuga fue de 0 µg/kg de peso corporal y día; mientras que, para el consumo de acelga, la EDI dio un valor de 0 µg/kg de peso corporal y día. Con respecto al Cd, se encontró que la EDI para el consumo de lechuga es de 9,3 µg/kg de peso corporal y día; mientras que, para el consumo de acelga, la EDI es de 2,4 µg/kg de peso corporal y día. En la Tabla VII se muestran los valores obtenidos y su comparación con la Ingesta Diaria Tolerable (IDT) recomendada por la EFSA para Pb y Cd.

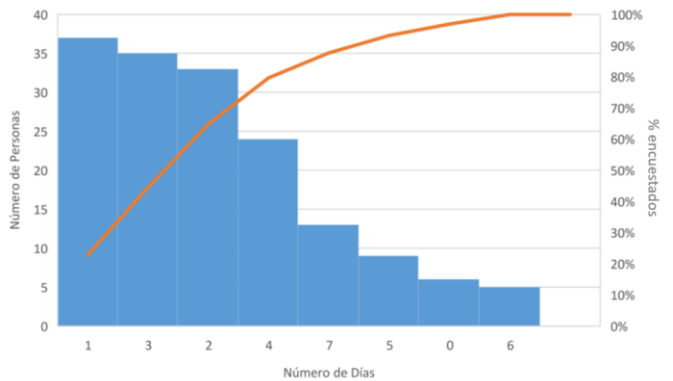


Fig. 3 Consumo de lechuga (*Lactuca sativa*) en función del número de días de la semana

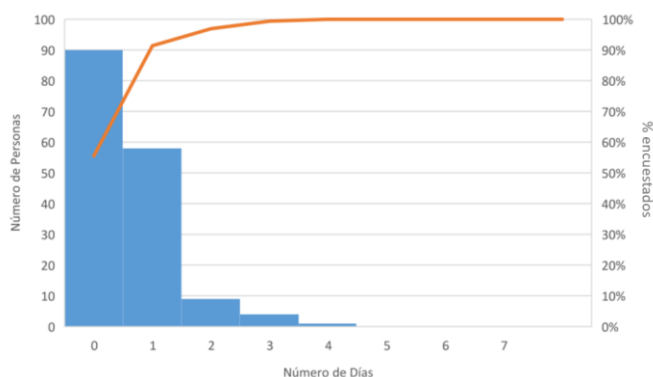


Fig. 4 Consumo de acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*) en función del número de días de la semana.

TABLA VII
COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE LAS EDI OBTENIDAS CON LOS VALORES DE
IDT RECOMENDADOS

Especie	Metal	EDI Miraflores $\mu\text{g/kg}$ por día	IDT $\mu\text{g/kg}$ por día
Lactuca sativa	Pb	0	0,5
	Cd	9,3	0,4 ^a
Beta vulgaris var. cicla.	Pb	0	0,5
	Cd	2,4	0,4 ^a

^aEl valor de IDT para Cd es un valor aproximado, el valor original es de 2.5 μg por kg de peso corporal a la semana ($\mu\text{g/kg}$ bw). Todos los valores de la IDT son los recomendados por la EFSA.

IV. DISCUSIÓN

Con respecto a los resultados del monitoreo, no se encontraron concentraciones de Pb significativas en las hojas de lechuga en ninguno de los sitios, con excepción de SR, en el cual en la tercera fecha de medición el valor fue tres veces mayor que el recomendado por el Codex Alimentarius y el Reglamento (CE) N° 1881/2006 de la Comisión ($0,3 \text{ mg kg}^{-1}$).

Desde el año 1922, el Pb estuvo presente en el transporte urbano al incorporarse a la gasolina como aditivo en forma de tetraetilo de Pb, con el fin de mejorar el rendimiento de los motores de la época. Desde entonces, el Pb ha venido siendo emitido al aire de las ciudades durante años como parte del proceso de combustión de los vehículos, el cual además se conoce que genera otros contaminantes tales como el dióxido de carbono (CO_2), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y el material particulado, que a su vez sirve como medio de transporte para otros contaminantes. No fue sino hasta el año 2002 que el por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente inició una campaña a favor de su eliminación de la gasolina. En el caso del Perú, esta reducción se dio a partir del año 1998, con la emisión del Decreto Supremo N° 019-98-MTC, la cual dictamino la

eliminación del mercado de la gasolina 95 RON, con Pb, y la reducción del contenido de Pb en la gasolina 84 RON. Sin embargo, pese a los esfuerzos realizados, recién en el año 2021 se logró que el uso de la gasolina con Pb llegará a su fin a nivel mundial [22], [23].

Teniendo en cuenta que los metales pesados como el Cd, Pb, Cu, Mn y Zn, al no ser química ni biológicamente degradables, una vez que son emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. No hay garantías de que dichos contaminantes hayan desaparecido del ámbito urbano pese a que actualmente ya no se comercializa ni produce gasolina que contenga Pb, y más aun considerando el prolongado. De acuerdo con Mielke & Reagan [24], se han transferido más de 10 millones de toneladas métricas de Pb al medio ambiente a nivel mundial como consecuencias de su emisión a través de la flota de vehículos de motor. Asimismo, otro factor a tener en cuenta, es la antigüedad del parque automotor. Como se mencionó anteriormente, el parque automotor peruano es uno de los más antiguos de Latinoamérica, esto debido a un mayor ingreso de vehículos de segunda mano procedente de Asia, los cuales en comparación con los vehículos modernos no incorporan las tecnologías que permiten una mayor reducción de sus emisiones y no necesariamente requieren hacer uso de combustibles limpios [25]. [26] en su investigación realizada en la ciudad de Bogotá, identificaron y analizaron los distintos metales pesados que podrían estar presentes en las partículas respirables como producto de las fuentes fijas y móviles, y encontraron que para el caso de las fuentes móviles, se encontró una mayor presencia de Pb en las partículas provenientes de las emisiones de buses y camiones que utilizan diésel como combustible en comparación con el resto de tipos de vehículos que utilizan gasolina. Cabe resaltar que Colombia posee una antigüedad de su parque automotor muy similar a la del Perú, con un promedio de 14,9 años frente a los 13,6 años peruanos registrados en el 2019 por la Asociación Automotriz del Perú, y al igual que en el Perú, desde el año 1991 se ha eliminado del mercado colombiano la gasolina con Pb, como parte de un programa de mejoramiento de la calidad de las gasolinas implementado por Ecopetrol [25], [27].

Dadas las similitudes entre ambos países, la cercanía del SR con avenidas de alto tránsito en las que circulan buses de transporte público que usan diésel podría ser un factor que contribuya a mayores concentraciones de Pb en las hojas de los cultivos. Esto en vista que, de todas las ubicaciones, el SR fue el único sitio que registró concentraciones de Pb en las hojas de ambos cultivos.

Sin embargo, debido a que no se conoce con exactitud cuanto del Pb en el suelo está disponible para la planta, la capacidad de captación de Pb por parte de las plantas dependerá también de las propiedades del suelo [28]. El pH explica en gran medida la movilidad de los metales pesados; la mayoría de ellos

tienden a estar más disponibles a pH ácido, mientras que el As, Mo, Se y Cr, tienden a estar más disponibles en pH alcalino [29]. Es posible que, debido al pH neutro del suelo utilizado, la cantidad de Pb disponible para su absorción por parte de la planta fue poca o casi nula, ya que inclusive en ubicaciones como el Colegio Nacional Federico Villarreal, en donde la concentración de Pb en suelo llegó hasta los 86,48 mg kg⁻¹, no se encontraron concentraciones de Pb en las hojas de los cultivos.

El Pb es posible encontrarlo comúnmente en los gases de combustión del carbón, teniendo así que la mayor parte de este se transfiere a las partículas de ceniza, esto también dependerá de las características de distribución del Pb en el carbón [30]. En el distrito de Miraflores, y sobre todo en los alrededores del punto EC, se pudo observar gran presencia de locales de venta de comida, entre ellos pollerías y restaurantes en los que se ofrecen carnes a la parrilla, y que utilizan el carbón como fuente de energía para la preparación de los platos, siendo este otro factor que también podría contribuir a mayores concentraciones de Pb junto con el alto tránsito de vehículos. Si bien, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre el Pb encontrado en las hojas y el Pb del suelo, es necesario la realización de mayores estudios sobre el tema.

Por otro lado, sí se encontraron concentraciones de Cd cuantificables en todas las locaciones, tanto en lechuga como en acelga. En el caso de la lechuga, las concentraciones variaron entre fechas, teniendo así que, para algunas ubicaciones como PB, CN y SR, no se encontraron valores en las dos primeras fechas, pero sí en la tercera. Sin embargo, todas las concentraciones encontradas superaron por mucho el límite recomendado de 0,2 mg kg⁻¹ en hortalizas de hojas por el Codex Alimentarius y el Reglamento (CE) N° 1881/2006 de la Comisión. Con respecto a las disminuciones en las concentraciones de Cd de las hojas de algunos de los sitios, se refiere al lavado como una causa probable de la disminución en la concentración de los metales. [31] evaluó la posibilidad de eliminar los contaminantes de las verduras urbanas mediante el lavado de los productos antes de consumirlos, encontrando que la fracción promedio de los contaminantes reducida tras el lavado, varió significativamente dependiendo del elemento: Pb (56%) > Co (56%) > Cr (55%) > As (45%) > Sb (35%) > Ni (33%) > Cu (13%) > Zn (7%) > Cd (7%) y Ba (5%). Por lo tanto, la ingesta diaria promedio de Pb y Cd aumentaría en 130% y 7% respectivamente si las verduras no fueron lavadas antes de consumirlas. Esto se refuerza con lo expuesto por [32], quien encontró que, a diferencia del Cd, la concentración de Pb se reduce significativamente en partes comestibles de hortalizas después de lavarlas. Por otro lado, el incremento del PM₁₀ entre los meses de diciembre y enero podría ser un factor importante a considerar al analizar el aumento de las concentraciones de metales pesados en los cultivos. [33], hace referencia a la contaminación del aire como principal causa del incremento de metales en los cultivos, considerando que los contaminantes

encontrados en los órganos de la superficie fueron el resultado de la captación aérea por parte de las plantas.

Otro aspecto a tener en cuenta son la cercanía de las ubicaciones a avenidas principales con alto flujo vehicular, como la avenida Aviación, la avenida Angamos, la vía expresa Av. Paseo de la República, la avenida Tomas Marsano y la avenida Larco. [34], encontró concentraciones de Pb en las hojas de romero expuestas al tráfico vehicular de hasta 20,66 mg kg⁻¹ en distintas zonas de la autopista, como los refugios y las pendientes. Una acumulación muy por encima de los niveles tóxicos para la planta mencionados en el estudio de <10 mg/kg [35], y de los niveles recomendados por la OMS y la UE (0,3 mg/kg), limitando su uso a ornamental y dejando de lado la posibilidad de usarla para fines gastronómicos, medicinales y aromáticos. De igual forma, [36], en su estudio indicó que la presencia de una alta carga de tráfico general es capaz de incrementar el contenido de metales traza en la biomasa del cultivo. Asimismo, menciona que si bien, el contenido de metales puede ser disminuido mediante la presencia de barreras entre el sitio de cultivo y las carreteras, no hay garantías de su efectividad.

Globalmente, las fuentes más comunes de Cd son aquellas provenientes de las emisiones antropogénicas de actividades como la fundición de metales no ferrosos, seguido por la quema de carbón y en menor medida por la fundición de metales ferrosos, la combustión de combustibles líquidos y la manufactura de minerales no metálicos [42]. Sin embargo, existen otras fuentes por las cuales el Cd puede ser liberado al ambiente, como las actividades de extracción y refinación de metales no ferrosos, el polvo procedente de las carreteras urbanas, los procesos de manufactura, el uso y aplicación de abonos de fosfato, las industrias de cemento, la combustión de combustibles fósiles y la incineración de basura. [43], [44].

Todas las ubicaciones en las que se realizó el monitoreo son cercanas a por lo menos una avenida principal de alto tránsito vehicular. De acuerdo con [45], las principales fuentes de emisiones metálicas de Cd relacionadas con el tráfico son la quema de combustibles, las estructuras galvanizadas, la quema de aceite y la abrasión de los neumáticos, el Cd proveniente de estas fuentes pasara al aire en forma de partículas o vapores y puede llegar a ser transportado largas distancias para finalmente depositarse (húmeda o seca) sobre la superficie del suelo o de cuerpos de agua. El Cd no es degradable en la naturaleza, presenta una alta movilidad, poder bioacumulativo y toxicidad a concentraciones muy bajas, motivo por el cual representa un riesgo importante para la salud humana, ya que puede llegar a ser bioacumulado por vegetales que serán ingeridos por personas. Las hortalizas de hojas contienen las concentraciones de Cd más elevadas (entre 0,05-0,12 mg kg⁻¹), motivo por el cual, en los Estados Unidos la dieta es la principal fuente de exposición al Cd en personas que no fuman [43], [46].

Con respecto a la EDI, en el caso del Pb no se exceden los límites recomendados por EFSA en las zonas estudiadas. Sin embargo, la EDI calculada exceden por mucho el límite de 24 µg de Cd para un adulto de 60 kg en promedio. Visto de otro modo, sólo se podría ingerir 13.4 gramos de lechuga y 15 gramos de acelga al día si es que no se quiere superar la IDT recomendada para Cd en hortalizas de hoja. El Cd una vez ingerido a través de los alimentos, puede llegar a generar irritación grave del estómago, vómitos, diarrea y en ciertas ocasiones la muerte cuando se encuentra en concentraciones muy altas; mientras que, cuando se encuentra en concentraciones bajas en los alimentos, su consumo por un periodo prolongado puede hacer que el Cd se acumule principalmente en la corteza renal, ocasionando daño al riñón, como también puede aumentar la fragilidad de los huesos [43], [47]. En el año 2005, [48] analizaron los niveles de concentración de Cd en sangre y orina de personas expuestas a la contaminación proveniente del parque automotor de la Av. Abancay y Av. Alfonso Ugarte en la ciudad de Lima. Si bien no se encontraron concentraciones que excedan los límites permisibles establecidos por la OMS (10 µg/l de Cd en sangre) en ninguna de las avenidas en promedio (8.25 µg/l Cd y 8.29 µg/l Cd, respectivamente), es necesario estudios más recientes que lo corroboren, ya que desde el año 1970, el número viajes motorizados diarios en la ciudad se ha incrementado, pasando de 4 millones 100 mil viajes/día a 19 millones 709 mil viajes/día en el año 2018 [49].

Por último, a la fecha ya hay evidencia de la incorporación del Cd en la dieta diaria de la población de Lima a través de vegetales obtenidos en los mercados. Se han encontrado concentraciones de Cd en lechuga y cebolla (*Allium cepa*) provenientes de distintos mercados de Lima Norte, Lima Centro y Lima Sur, que excedieron el límite recomendado por el Codex Alimentarius para hortalizas de hoja (0,2 mg kg⁻¹) y hortalizas de bulbo (0,05 mg kg⁻¹) [50], [51]. Si bien no todos los productos que se comercializan en los mercados son cultivados en la ciudad de Lima, se pone en relevancia la presencia que el Cd puede llegar a tener en la dieta diaria de la población.

En conclusión, del monitoreo realizado, no se encontraron concentraciones significativas de Pb en las hojas de las dos especies utilizadas, pero sí concentraciones altas de Cd, teniendo que para la lechuga se encontró un valor máximo de 5,88 mg kg⁻¹ y para la acelga 3,61 mg kg⁻¹, sobrepasando los límites recomendados por el Codex Alimentarius y la Comisión Europea en hortalizas de hojas. En consecuencia, los valores de la Ingesta Diaria Estimada (EDI) para el Cd, también excedieron los valores de Ingesta Diaria Tolerable (IDT) recomendados por la EFSA, teniendo así que, para los cultivos provenientes de las zonas estudiadas de Miraflores, al día sólo se podría ingerir 13,4 gramos de lechuga y 15 gramos de acelga. Por lo tanto, es necesario la realización de mayores estudios que permitan profundizar e investigar más a fondo el origen del Cd en los cultivos, de forma tal que se pueda disminuir el riesgo a

la salud relacionado con la ingesta de alimentos contaminados producidos en la ciudad.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a la UPC y a la directora de la carrera Mercedes Gómez, por todos los conocimientos y herramientas que me brindaron para poder formar el profesional que soy hoy en día. A mi asesor, el profesor Jorge Achata, por sus valiosos consejos, guía y acompañamiento durante toda la investigación. Al Colegio Federico Villarreal por las facilidades brindadas para poder hacer uso de sus instalaciones. Al equipo de profesionales de la Subgerencia de Desarrollo Ambiental de Miraflores, por su apoyo para el desarrollo del estudio. Y a los ingenieros y colegas, Carlos, Lizbeth, Allison y Sebastián, por su apoyo y valioso tiempo brindados.

REFERENCIAS

- [1] P. D. Department of Economic and Social Affairs, "World Urbanization Prospects 2018: Highlights," 2019.
- [2] B. Degenhart, "La agricultura urbana: un fenómeno global.," *Nueva Sociedad*, vol. 262, pp. 1–14, Mar. 2016, Accessed: Apr. 16, 2023. [Online]. Available: <https://nuso.org/revista/262/cosecharas-tu-siembra-agricultura-y-alimentos-en-debate/>
- [3] Organización Panamericana de la Salud [OPS], "Nueve de cada 10 personas en todo el mundo respiran aire contaminado, pero más países están tomando acciones." Accessed: Nov. 20, 2020. [Online]. Available: https://www.paho.org/per/index.php?option=com_content&view=article&id=4016:contaminacion-aire-oms&Itemid=0
- [4] K. Lee and M. Greenstone, "2021 Annual Update ," Sep. 2021. Accessed: Oct. 07, 2022. [Online]. Available: <https://aqli.epic.uchicago.edu/pollution-facts/>
- [5] M. Arrobias, H. Lopes, and M. Rodrigues, "Urban agriculture in Bragança, Northeast Portugal: assessing the nutrient dynamic in the soil and plants, and their contamination with trace metals," *Biological Agriculture and Horticulture*, vol. 33, no. 1, pp. 1–13, 2017, doi: 10.1080/01448765.2016.1172345.
- [6] R. López, J. Hallat, A. Castro, A. Miras, and P. Burgos, "Heavy metal pollution in soils and urban-grown organic vegetables in the province of Sevilla, Spain," *Biological Agriculture and Horticulture*, vol. 35, no. 4, pp. 219–237, 2019, doi: 10.1080/01448765.2019.1590234.
- [7] A. M. Weber, T. Mawodza, B. Sarkar, and M. Menon, "Assessment of potentially toxic trace element contamination in urban allotment soils and their uptake by onions: A preliminary case study from Sheffield, England," *Ecotoxicol Environ Saf*, vol. 170, no. May 2018, pp. 156–165, 2019, doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.11.090.
- [8] I. Säumel, I. Kotsyuk, M. Hölscher, C. Lenkereit, F. Weber, and I. Kowarik, "How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany," in *Environmental Pollution*, Jun. 2012, pp. 124–132. doi: 10.1016/j.envpol.2012.02.019.
- [9] Statista Research Department, "Ciudades más pobladas en América Latina 2022 ." Accessed: Apr. 05, 2023. [Online]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/1192117/ciudades-sudamericanas-mas-pobladas/>
- [10] Instituto Metropolitano de Planificación, "Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima (2012-2025)," Lima, Feb. 2013. Accessed: Apr. 03, 2023. [Online]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/plan-regional-desarrollo-concertado-lima-2012-2025>
- [11] ECOMU, "Huertos Urbanos en Lima, Perú ." Accessed: Apr. 07, 2023. [Online]. Available:

- <https://ecomuhuertos.com/2021/02/09/huertos-urbanos-en-lima-peru/>
- [12] N. Soto and S. Siura, "Panorama de Experiencias de Agricultura Urbana en Lima Metropolitana y Callao," *IPES - Promoción del Desarrollo Sostenible*, pp. 1–46, Apr. 2008, Accessed: Apr. 07, 2023. [Online]. Available: www.ipes.org
 - [13] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [EPA], "Glosario: Ingesta Diaria Tolerable." Accessed: Mar. 23, 2023. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/falatos-material-escolar/glosario/ghi/ingesta-diaria-tolerable-idx.htm
 - [14] Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria [EFSA], "Cadmium in food - Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain," *EFSA Journal*, vol. 7, no. 3, Mar. 2009, doi: 10.2903/J.EFSA.2009.980.
 - [15] Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición [AESAN], "Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) en relación a criterios de estimación de concentraciones para la discusión de propuestas de límites de migración de determinados metales pesados y otros elem.," May 2012.
 - [16] Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria [EFSA], "Scientific Opinion on Lead in Food," *EFSA Journal*, vol. 8, no. 4, Apr. 2010, doi: 10.2903/J.EFSA.2010.1570.
 - [17] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] and Organización Mundial de la Salud [OMS], "Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead, and cadmium : sixteenth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, Geneva, 4-12 April 1972." Accessed: Mar. 24, 2023. [Online]. Available: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/40985?search-result=true&query=Evaluation+of+certain+food+additives+and+the+contaminants+mercury%2C+lead%2C+and+cadmium+%28Sixteenth+report+of+the+Joint+FAO%2FWHO+Expert+Committee+on+Food+Additives%29¤t-scope=1>
 - [18] Ministerio del Ambiente [MINAM], *Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*. Perú, 2017. Accessed: Apr. 30, 2023. [Online]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>
 - [19] Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), *Aprueban Norma Técnica Peruana sobre calidad de agua*. Perú, 2013.
 - [20] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], *CXS 193-1995: Norma General para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos*. 2019, pp. 1–76.
 - [21] Unión Europea [EU], *Reglamento (CE) N° 1881/2006 de la Comisión - de 19 de diciembre de 2006*. 2006. Accessed: Apr. 30, 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1881>
 - [22] Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), "Decreto Supremo N° 019-98-MTC." [Online]. Available: https://minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=5&idLegislacion=5616#:~:text=Disponen+eliminar+del+mercado+la,+en+la+gasolina+84+Ron
 - [23] Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), "El mundo pone fin a la era de la gasolina con plomo y elimina una grave amenaza para la salud humana y ambiental." [Online]. Available: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/el-mundo-pone-fin-la-era-de-la-gasolina-con-plomo-y>
 - [24] H. W. Mielke and P. L. Reagan, "Soil is an important pathway of human lead exposure.," *Environ Health Perspect*, vol. 106, no. suppl 1, pp. 217–229, Feb. 1998, doi: 10.1289/ehp.98106s1217.
 - [25] Gerencia de Estudios Económicos de la AAP, "La modernización del parque automotor contra la contaminación, afecciones respiratorias y gasto en salud.," Lima, 2020.
 - [26] A. C. Páez and D. M. Pedraza, "Identificación y análisis comparativo de metales pesados en partículas respirables y estimación del riesgo para la salud humana, en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá," Universidad de La Salle, 2006.
 - [27] A. Baraya, "¿Qué tan limpios son los combustibles en Colombia?," *Revista Motor*. [Online]. Available: <https://www.motor.com.co/industria/Que-tan-limpios-son-los-combustibles-en-Colombia-20170507-0001.html>
 - [28] A. Kabata-Pendias, "Trace elements in soils and plants," 2010, *Taylor and Francis Group, CRC Press*.
 - [29] J. Prieto, C. González, A. Román, and F. Prieto, "Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water," *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 10, no. 1, pp. 19–44, 2008.
 - [30] Y. Wang *et al.*, "A critical review on lead migration, transformation and emission control in Chinese coal-fired power plants," *J Environ Sci (China)*, vol. 124, no. x, pp. 397–413, 2023, doi: 10.1016/j.jes.2021.09.039.
 - [31] A. L. M. Augustsson, T. E. Uddh-Söderberg, K. J. Hogmalm, and M. E. M. Filipsson, "Metal uptake by homegrown vegetables - The relative importance in human health risk assessments at contaminated sites," *Environ Res*, vol. 138, pp. 181–190, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.envres.2015.01.020.
 - [32] K. A. M. Hawrami, N. M. J. Crout, G. Shaw, and E. H. Bailey, "Assessment of potentially toxic elements in vegetables cultivated in urban and peri-urban sites in the Kurdistan region of Iraq and implications for human health," *Environ Geochem Health*, vol. 42, no. 5, pp. 1359–1385, May 2020, doi: 10.1007/s10653-019-00426-z.
 - [33] M. Ortoló, "Air pollution risk assessment on urban agriculture," *École Polytechnique Fédérale de Lausanne*, 2017.
 - [34] E. Bozdogan Sert, M. Turkmen, and M. Cetin, "Heavy metal accumulation in rosemary leaves and stems exposed to traffic-related pollution near Adana-İskenderun Highway (Hatay, Turkey)," *Environ Monit Assess*, vol. 191, no. 9, pp. 1–12, Sep. 2019, doi: 10.1007/s10661-019-7714-7.
 - [35] A. Kabata-Pendias, *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2000.
 - [36] I. Säumel, I. Kotsyuk, M. Hölscher, C. Lenkeret, F. Weber, and I. Kowarik, "How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany," *Environmental Pollution*, vol. 165, pp. 124–132, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.envpol.2012.02.019.
 - [37] A. P. Kaledin and M. V. Stepanova, "Bioaccumulation of trace elements in vegetables grown in various anthropogenic conditions," *Foods and Raw Materials*, vol. 11, no. 1, pp. 10–16, 2022, doi: 10.21603/2308-4057-2023-1-551.
 - [38] M. Harmanescu, L. M. Alda, D. M. Bordean, I. Gogoasa, and I. Gergen, "Heavy metals health risk assessment for population via consumption of vegetables grown in old mining area; a case study: Banat County, Romania," *Chem Cent J*, vol. 5, no. 1, pp. 1–10, Oct. 2011, doi: 10.1186/1752-153X-5-64/TABLES/6.
 - [39] F. Guerra, A. R. Trevizam, T. Muraoka, N. C. Marcante, and S. G. Canniatti-Brazaca, "Heavy metals in vegetables and potential risk for human health," *Sci Agric*, vol. 69, no. 1, pp. 54–60, 2012, doi: 10.1590/S0103-90162012000100008.
 - [40] F. V. Sussa, M. R. Furlan, M. Victorino, R. C. L. Figueira, and P. S. C. Silva, "Essential and non-essential elements in lettuce produced on a rooftop urban garden in São Paulo metropolitan region (Brazil) and assessment of human health risks," *J Radioanal Nucl Chem*, vol. 331, no. 12, pp. 5869–5879, 2022, doi: 10.1007/s10967-022-08661-y.
 - [41] R. López, J. Hallat, A. Castro, A. Miras, and P. Burgos, "Heavy metal pollution in soils and urban-grown organic vegetables in the province of Sevilla, Spain," *Biological Agriculture and Horticulture*, vol. 35, no. 4, pp. 219–237, 2019, doi: 10.1080/01448765.2019.1590234.

- [42] C. Zhu, H. Tian, and J. Hao, "Global anthropogenic atmospheric emission inventory of twelve typical hazardous trace elements, 1995–2012," *Atmos Environ*, vol. 220, p. 117061, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.atmosenv.2019.117061.
- [43] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ATSDR], "Resumen de Salud Pública: Cadmio (Cadmium) | PHS | ATSDR." Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html
- [44] T. Fang *et al.*, "Source tracing with cadmium isotope and risk assessment of heavy metals in sediment of an urban river, China," *Environmental Pollution*, vol. 305, p. 119325, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.envpol.2022.119325.
- [45] M. Vithanage *et al.*, "Deposition of trace metals associated with atmospheric particulate matter: Environmental fate and health risk assessment," *Chemosphere*, vol. 303, no. P3, p. 135051, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2022.135051.
- [46] Y. Hernández-Baranda, P. Rodríguez-Hernández, and O. Cartaya-Rubio, "Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate Yanitza Meriño-Hernández 4," *Cultivos Tropicales*, vol. 40, no. 3, p. 10, 2019.
- [47] S. Yang, D. Yang, D. Taylor, M. He, X. Liu, and J. Xu, "Tracking cadmium pollution from source to receptor: A health-risk focused transfer continuum approach," *Science of The Total Environment*, vol. 867, p. 161574, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.161574.
- [48] K. Cedano and L. Requena, "Estudio toxicológico de los niveles de concentración de cadmio, magnesio y plomo, en sangre y/u orina en personas expuestas en las Avs. Abancay y Alfonso Ugarte de la ciudad de Lima.," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, 2007.
- [49] Fundación Transitemos, "Transporte urbano de Lima y Callao. Informe de observancia situación del transporte urbano en Lima y Callao 2018.," Lima, Jul. 2018.
- [50] M. Juan De Dios, M. García, G. Marín, and D. Olórtégui, "Determinación de cadmio en cebolla (*Allium cepa*) en Lima Metropolitana," *Cienc Invest*, vol. 24, no. 2, pp. 3–7, 2022, doi: 10.15381/ci.v24i2.22519.
- [51] F. M. Madueño, "Determinación de metales pesados (plomo y cadmio) en lechuga (*Lactuca sativa*) en mercados del Cono Norte , Centro y Cono Sur de Lima Metropolitana," *Universidad Nacional Mayor De San Marcos Facultad De Farmacia Y Bioquímica E.a.P. De Toxicología*, p. 94, 2017.