
El enfoque ecosistémico en salud humana como estrategia para el abordaje metodológico del estudio de las relaciones entre el ambiente agrícola, los metales pesados y la salud humana

The ecosystem approach in human health as a strategy for the methodological study of the relationships between agricultural environment, heavy metals and human health

Damarys García Céspedes¹, Lázaro Antonio Lima Cazorla¹, Joscelito Solano Gaibor², Yasmín Teresa Blanco López¹, Luzmila María Valverde Medina¹, Luis Copérnico Caicedo Perlaza¹

¹Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador

²Universidad Estatal de Bolívar, Guaranda, Ecuador

Resumen

Introducción: a pesar de los avances científicos obtenidos, la exposición de los humanos a metales pesados y otras sustancias tóxicas no podrá ser totalmente evitada, lo que constituye una preocupación en salud pública a nivel global, regional y local. Aspecto que determina la necesidad de comprender los procesos de salud y los enfoques integradores sobre salud y ecología encaminados a transformar las relaciones entre el ser humano y el entorno como pilares en la promoción de salud y la prevención de múltiples enfermedades. **Materiales y métodos:** se desarrolló una búsqueda bibliográfica que incluyó diversas bases de datos. Se revisaron 346 artículos o documentos de sitios web oficiales, de los cuales se seleccionaron 83 que se ajustaban al objetivo planteado en la investigación. **Desarrollo:** El enfoque ecosistémico en salud humana (ecosalud), es un marco de investigación que estudia cómo la salud humana y la calidad ambiental son determinantes en las complejas relaciones que se establecen entre los distintos componentes de un ecosistema. Los metales pesados debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas. **Conclusiones:** cada vez más son las enfermedades y riesgos para la salud relacionados con el medio ambiente, las actividades productivas y los metales pesados

Recibido: 30 de junio 2021 - revisión aceptada 20 de marzo 2022

Correspondiente al autor: damarys.garcia@utelvt.edu.ec

tóxicos. El mejoramiento de la salud humana depende del manejo adecuado de los sistemas naturales y del control y regulación de las actividades productivas.

Palabras clave: ecosalud, metales pesados tóxicos, salud humana, sistemas agrícolas

Abstract

Introduction: Despite of scientific advances, human exposure to heavy metals and other toxic substances cannot be totally avoided, which is a concern in public health at the global, regional and local levels. This aspect that determines the need to understand the processes of health and integrative approaches to health and ecology aimed at transforming relations between human beings and the environment as pillars in promoting health and preventing many diseases. Materials and methods: a search that included several databases was developed, 346 articles or information from official websites were reviewed, 83 of them were selected because were consistent with the investigation objective. Development: The ecosystem approach to human health (ecohealth), is a research framework that studies how human health and environmental quality are crucial to the complex relationships established between the different components of an ecosystem. Heavy metals because of its associate toxicity and trend to accumulate in biological systems pose an important risk to human health and ecosystems. Conclusions: there are an increase of diseases and health risks related to the environment, productive activities and toxic heavy metals. Improving human health depends on the proper management of natural systems and the control and regulation of productive activities.

Key words: ecohealth, toxic heavy metals, human health, agriculture systems

Introducción

El hombre ha tratado a lo largo de la historia de ir incrementando su calidad de vida, sin embargo, una consecuencia indeseada de su accionar ha sido la contaminación del medio ambiente. En la actualidad se presentan un sinnúmero de sustancias en el ambiente que generan un riesgo directo o indirecto para la salud humana debido a la naturaleza tóxica de las mismas o por encontrarse en altas concentraciones (Chung, 2008).

La contaminación ambiental del aire, agua y suelo constituye una preocupación importante para la salud pública, debido a que millones de personas están siendo expuestas de forma crónica a bajas dosis

de químicos nocivos, causales de múltiples riesgos para la salud humana, animal y de los ecosistemas (Leme et al. 2012).

La “Evaluación de los Ecosistemas del Milenio” fue desarrollada entre 2001 y 2005, para comprender mejor las consecuencias de las transformaciones que ocurren en los ecosistemas y que influyen sobre el bienestar humano y de esta forma poder establecer las bases científicas de las acciones necesarias para la mejora, la conservación, el uso sustentable de los ecosistemas y sus contribuciones para el bienestar humano (Montes y Sala, 2007). Por su parte el enfoque ecosistémico en salud humana conecta la gestión ambiental con la comprensión holística de la salud humana, considerando los factores sociales,

económicos y culturales inherentes a un ecosistema (Feola y Bazzani, 2002).

La explotación intensiva de los recursos naturales, el desarrollo industrial y el surgimiento de grandes concentraciones urbanas son fenómenos que, por incontrolados, han dado lugar a la saturación de la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza. Los mismos pueden acarrear perturbaciones irreversibles del equilibrio ecológico general, cuyas consecuencias a largo plazo no son fácilmente previsibles (Rodríguez Bertheau et al., 2011; Blanco Obando, 2016; Feito, 2011; Mora Marín et al., 2014, Suárez Tamayo y Molina Esquivel, 2014).

La salud y el medio ambiente constituyen un binomio indisoluble, debido a que no puede haber desarrollo sostenible sin que la salud, la equidad, la conservación de recursos y la biodiversidad estén presentes. El conocimiento de la interrelación entre la variable poblacional y la variable ambiental es una de las vías mediante las cuales se puede llegar a la percepción adecuada de los problemas creados por las intrincadas relaciones entre la población, la cultura y el desarrollo (Cabrera, 2001).

Varios procesos naturales son los responsables de la presencia de metales pesados en los suelos. No obstante, desde hace muchos años las actividades de tipo agrícola, industrial y urbana han contribuido de manera significativa a la acumulación de estos elementos en los suelos. Metales tóxicos y metaloides como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico, entre otros, son muy dañinos para la salud humana y para la vida de la mayoría de organismos vivos. Son elementos no degradables, ni química ni biológicamente, con lo que acaban, entre otros destinos,

acumulándose en los suelos y a partir de ahí en las tramas tróficas (Llugany et al., 2007).

La calidad del ambiente incide directamente en la salud del ser humano; el deterioro ambiental causa consecuencias perjudiciales, en cambio, un medio ambiente adecuado favorece la equidad ambiental, que representa agua, aire, y suelos no contaminados, así como seguridad e inocuidad de los alimentos y estilos de vida saludables. Igualmente, un medio ambiente adecuado incrementa la probabilidad de que el ser humano salve y prolongue su salud (Cantú, 2012).

La revisión bibliográfica presentada como parte de este trabajo se realizó con el objetivo de actualizar los conocimientos sobre el enfoque ecosistémico en salud humana como abordaje metodológico para el estudio de las relaciones entre el ambiente agrícola, metales pesados tóxicos y la salud humana.

Metodología

Se realizó una revisión bibliográfica de tipo narrativa, con el empleo de los descriptores: "enfoque ecosistémico en salud humana", "ecosalud", "metales pesados tóxicos", "riesgos para la salud", "sistemas agrícolas", "metales pesados tóxicos en sistemas agrícolas". Se emplearon las bases de datos: MEDLINE, PubMed, Science Direct, Springer y SciELO,

La estrategia que se empleó durante la búsqueda se caracterizó por la actualización de la información, análisis objeto de la temática y alcance de la misma. Los artículos examinados incluyeron revisiones y artículos de investigación. Se revisaron 346 artículos, de los cuales se seleccionaron 83 que se ajustaban al objetivo planteado en la investigación.

Generalidades del enfoque ecosistémico en salud humana

La utilización del enfoque ecosistémico en salud humana (llamado también Ecosalud) surgió en la región de América Latina y el Caribe en las últimas décadas como consecuencia de la confluencia de varias corrientes de pensamiento en el ámbito sistémico-ambiental y de sistemas de salud (Forget y Lebel, 2001). El objetivo de este enfoque es permitir una lectura más completa y holística del problema de salud a nivel comunitario, a través de la generación de un conocimiento integral de las dinámicas existentes entre los ambientes biológicos, físicos y sociales con relación a la problemática de salud abordada.

El enfoque ecosistémico en salud humana, estudia cómo puede ser protegida y mejorada la salud humana mediante la gestión de los ecosistemas, donde los investigadores trabajan en forma interdisciplinaria para en la búsqueda de nuevos conocimientos que permitan elaborar soluciones sustentables que trasciendan al sector de la salud y que incluyen a científicos, miembros de la comunidad y tomadores de decisiones para conseguir el equilibrio entre la salud de los ecosistemas y los humanos. Se plantea como fundamento el desarrollo de tres pilares metodológicos: transdisciplinaridad, participación y equidad (Lebel, 2003; Level, 2005). Este enfoque ofrece posibilidades de construir un marco teórico-práctico para el prevé una amplia participación social en el análisis de los problemas ambientales y en la búsqueda de soluciones (Waltner-Toews, 2001, Mertens et al., 2012).

El enfoque ecosistémico en salud humana, constituye una estrategia para el manejo integrado y la restauración de la tierra, el agua y los recursos vivos. Promueve la

conservación y el uso sostenible de los recursos naturales de manera equitativa, participativa y descentralizada; integra aspectos sociales, económicos, ecológicos y culturales en un área geográfica definida por límites ecológicos. Establece principios para la acción, que se centran en las premisas del desarrollo sostenible, el manejo ecosistémico y la conservación, los cuales deben aplicarse de manera flexible para abordar el manejo en diferentes contextos sociales, económicos, ambientales y culturales (Andrade, 2007).

Este enfoque está basado en la idea de que la salud humana no puede ser considerada de forma aislada y depende de la calidad del medio ambiente en el cual la gente vive y del ecosistema al cual pertenece (Zinsstag, 2012). Concibe al ser humano, su sociedad y su cultura como componentes centrales de los ecosistemas, rompiendo con la separación conceptual y metodológica prevaleciente entre sociedad y naturaleza.

La salud encarna los dos elementos críticos que están en juego y necesitan ser equilibrados en la actual crisis ambiental. Estos elementos son, por un lado, la preservación de la capacidad del ecosistema para su auto-reorganización y renovación y el logro de metas humanas razonables, por el otro (Ole, 2002). En la actualidad, suele aceptarse un concepto de salud ecológica, sistémica y dinámica resultante de la interacción y adaptación de las personas a su medio físico y social (Guerrero y León, 2008).

La Organización Mundial de la Salud define a la Salud como el estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades (OMS, 1994). La salud no puede separarse de una serie de elementos ambientales, como el aire, agua, hacinamiento urbano, productos químicos, vectores de enfermedades, exceso

de consumo, ni tampoco de las vicisitudes sociales.

Diferentes autores opinan que el aspecto médico es solo una dimensión de la salud pues existen factores como la geografía, el clima, el trabajo, los ingresos, la alimentación, la educación, la vivienda y los valores éticos junto con el desarrollo pleno de las capacidades y potencialidades de cada individuo, en sus aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos, sociales, entre otros. En su conjunto estos factores ofrecen la condición de bienestar (o felicidad) y constituyen, lo que se debe definir como salud para lograr todas las dimensiones del desarrollo de las personas: equidad, sustentabilidad, productividad, potenciación, cooperación y seguridad (Raeburn y Rootman, 1998, Rengifo, 2008)

El enfoque ecosistémico en salud humana conecta la gestión ambiental integrada con la promoción de la salud global/ecológica y ofrece una nueva oportunidad de promocionar la salud a través de una gestión más inteligente del ecosistema. Si bien es deseable manejar los recursos naturales y el entorno biofísico para lograr esto, también deben tomarse en cuenta todos los factores sociales, económicos y culturales relevantes, inherentes a un ecosistema dado. Para lograr el éxito, el enfoque debe ser participativo y transdisciplinario, con particular ocupación en las necesidades y aspiraciones de diferentes grupos sociales y tener en cuenta las diferencias que existen entre los distintos grupos sociales y dentro de estos, los grupos de riesgo (Webb et al., 2010).

La investigación y gestión en salud humana y del ecosistema están encaminadas principalmente a ayudar a las comunidades a lograr metas razonables y sustentables. El éxito a largo plazo en la gestión de salud de los

ecosistemas y la mejora de la salud humana dependen en definitiva de empoderar a las comunidades con el conocimiento (Forget, 2002).

El enfoque conecta formalmente las ideas de los determinantes ambientales y sociales de la salud con los de los ecosistemas y los sistemas de pensamiento en un marco de acción-investigación aplicada sobre todo en un contexto de desarrollo social y económico. El pensamiento en sistema, donde se trata de entender cómo las personas y su salud se relacionan a los ecosistemas con una realidad compleja. La transdisciplinariedad involucra la integración de metodologías de la investigación y herramientas, e incluye perspectivas académicas y no académicas del conocimiento; mientras que la participación, es considerada como un proceso que ayuda a la identificación de las barreras para el cambio, contribuye a viabilizar la información, el conocimiento y promueve los pasos concretos para realizar el cambio (Charron, 2012).

Se trata por tanto de un enfoque de prevención primaria de la salud, que vincula la salud del ecosistema con la salud humana y que se caracteriza por una serie de principios. El principio de la sostenibilidad considera la protección de los ecosistemas y el mejoramiento de los ambientes degradados como requisitos fundamentales para mantener la salud humana, el bienestar presente y el de las futuras generaciones, donde el mantenimiento ecológico y social constituye la parte deseada a través de la investigación en ecosalud.

El principio género y equidad social, estudia las relaciones que se establecen entre los diferentes grupos sociales, económicos, de edad, o género, en relación con los ecosistemas, el estado de salud y las metas de

bienestar. El sexto principio, es el llamado “del conocimiento a la acción” y constituye la forma de emplear el conocimiento adquirido por medio de la investigación para mejorar la salud y lograr el bienestar a través de un ambiente mejorado.

El enfoque procura identificar las rutas de exposición y lo que las modifica. Estas rutas y sus modificadores pueden ser de tipo: social, económico, cultural, geofísico, químico, biológico, etc., y pueden estar dentro y fuera del lugar de trabajo. Las relaciones pueden ser directas o indirectas. La identificación de estas rutas proporciona los medios de intervención en varios niveles, incluyendo actividades de la comunidad; condiciones, organización y prácticas de trabajo; relaciones dentro de los lugares de trabajo, así como diferentes actores locales, nacionales e internacionales que influyen en las relaciones entre el ambiente laboral y del hogar y la salud, los reglamentos locales y nacionales, el comercio internacional, entre otros. Proporciona una visión local y también global de las relaciones que existen entre los diferentes ambientes y la salud humana (Mergler, 2014).

Metales pesados

Actualmente uno de los términos más empleados en la literatura científica para describir un grupo de elementos químicos o sus compuestos, fundamentalmente metales, asociado con la toxicidad o ecotoxicidad de los mismos es el de “metal pesado” (Appenroth, 2010a). Si por ejemplo se hace búsqueda en internet, a través de plataformas con mayor o menor especialización, se obtiene una cantidad nada despreciable de resultados que contienen ese término. No obstante, a pesar de su amplio uso no existe una definición clara de “metal pesado”.

Las asociaciones que se han realizado entre el término metal pesado y la toxicidad con la densidad de los elementos metálicos (Davies, 1987, Järup, 2003) han dejado de tener mucha aceptación y han sido sometidas a la crítica (Duffus, 2002, Appenroth, 2010b). Por ejemplo, Nagajyoti et al. (2010) consideraron que la toxicidad de los elementos está más influenciada por las propiedades químicas de los metales que por la densidad de los mismos, siendo aún más categórico Duffus (2002) en sus conclusiones. Utilizar el criterio de ubicación de los elementos químicos en la tabla periódica, aunque también ha sido cuestionado, parece ser en la actualidad el acercamiento más empleado, aunque no existe un criterio unánime para su definición (Batley, 2012, Appenroth, 2010a, Appenroth, 2010b, Roy, 2010). Otras propuestas de asociar el término de metales pesados al comportamiento químico de los compuestos (Appenroth, 2010a, Appenroth, 2010b) no han podido desplazar a los criterios más usados relacionados con la toxicidad, la densidad o la ubicación de los elementos en la tabla periódica.

Para algunos, como es el caso de Batley (2012), el término “metal pesado” debe ser empleado para englobar los elementos de transición y los metales de los grupos 13 y 14 de la tabla periódica. Roy (2010) por su parte considera incluir en el término a metales, metaloides, lantánidos y actínidos que tienen en común manifestar determinadas propiedades metálicas. La definición de “metal pesado” propuesta por Appenroth (2010b) es muy parecida a mencionadas anteriormente, solo que incluye, además de los metales de transición y los de transición interna, al Bi y a otros elementos que forman óxidos anfóteros (como es el caso de Al, Ga, In, Tl, Sn, Pb, Sb y Po), así como, a los metaloides Ge, As y Te.

Dada la variedad de interpretaciones que se le da al término metales pesados, no lográndose aún alcanzar una definición única que permita delimitar inequívocamente a cuales elementos químicos incluir en esa clasificación, se mantiene aún en la actualidad un debate sobre la utilidad o no emplear esta denominación. Por ejemplo, Duffus (2002) llegó a considerar el término como sin sentido en un trabajo que ha tenido una elevada repercusión en la comunidad científica, por su parte Hodson (2004) también recomendó dejar de utilizar el término al considerarlo como poco científico y recomendó utilizar otras alternativas existentes para clasificar a los metales o los elementos del sistema periódico. Sin embargo, otros como Batley (2012) han expuesto elementos que apoyan el empleo del término con vistas a delimitar una amplia serie de elementos con gran interés medio ambiental. En este sentido Appenroth (2010a) sugirió no evitar el uso del término por su amplia utilización, pero si definirlo de una mejor manera.

Una de las principales dificultades dadas con el empleo del término está en que los elementos (metales) pueden provocar toxicidad cuando se encuentran en ciertas formas químicas a dosis suficientemente elevadas (Hodson, 2004). Por ejemplo, elementos tales como Fe, Cu y Zn se consideran metales pesados, pero a la vez cumplen papeles esenciales, a bajas concentraciones, en determinados procesos en los seres vivos y solamente comienzan a manifestar efectos tóxicos cuando alcanzan determinados niveles de concentración en esos mismos organismos (Appenroth, 2010b).

Con el objetivo de emplear un término adaptado a las condiciones propias para significar un efecto perjudicial a los ecosistemas, aparentemente, el término

no tenderá a desaparecer, sino que su empleo llegó para quedarse como parte de la terminología científica o la menos especializada. De hecho, Hodson (2004) reportó estadísticas sobre el empleo del término en importantes publicaciones hasta el año 2002, mientras que Pourret y Bollinger (2017) en una actualización sobre la temática, reportaron un incremento sustancial en el empleo del término en la literatura científica, incluyendo varias de las revistas científicas consideradas de mayor impacto en el campo medio ambiental.

A los efectos de este trabajo consideramos como válidas todas las acepciones asociadas al término metal pesado, en especial la vinculada a la toxicidad de estas sustancias o sus compuestos en lo específico a lo propuesto por Batley (2012) para definir que es un metal pesado.

Clasificación de los metales pesados y metaloides

Los metales constituyen un grupo de elementos muy heterogéneos por sus amplias propiedades químicas y determinadas funciones biológicas para algunos de ellos. Se mantienen en la categoría de contaminantes del medio ambiente debido a los efectos tóxicos que provocan a plantas, animales y seres humanos (Raikwar et al., 2008).

El estudio de los efectos tóxicos de metales pesados en el ser humano ha cobrado particular importancia en los últimos 50 años debido a que grandes cantidades de estos productos fueron desechados como parte de la actividad industrial, no son biodegradables y persisten en el medio ambiente durante largos periodos (Sabath y Robles-Osorio, 2012). El proceso patológico en el cual se presentan signos y síntomas causados por una sustancia química, es conocido como

intoxicación, en este sentido uno de los elementos más importante al referirse a este término es la dosis, ya que cada xenobiótico posee una dosis a partir de la cual se producen manifestaciones de toxicidad. Las intoxicaciones se presentan cuando se conjugan la dosis, la ruta y el tiempo de exposición (Nava y Méndez, 2011).

Algunos metales pesados como cobre y hierro son esenciales para mantener adecuadamente las actividades metabólicas nutritivas en los organismos vivos. Metales como arsénico, cadmio, plomo y mercurio, no son esenciales, y no se le conocen hasta ahora ningún papel biológico (Angelova et al., 2004). Se bioacumulan y no se metabolizan en compuestos intermedios incorporándose a la trama trófica a través de la absorción por parte de los productores primarios y por medio del consumo a los consumidores secundarios (Roy, 2010). La bioacumulación significa un aumento en la concentración de una sustancia química en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Abdelkhalik et al., 2015).

De acuerdo a los efectos que propicien los metales sobre los organismos vivos se distinguen dos grupos: los que no presentan función biológica (cadmio, mercurio, plomo, arsénico, antimonio, bismuto), implicando disfunciones orgánicas en los seres vivos. Los considerados oligoelementos o micronutrientes (boro, cobalto, cromo, cobre, molibdeno, manganeso, níquel, selenio, zinc, entre otros) (Zaady, 2010). Según Morton-Bermea (2006) pueden considerarse como metales esenciales al zinc, hierro, manganeso, cobre y cobalto, mientras que el cadmio, níquel, plomo, aluminio, arsénico y mercurio pueden considerarse como metales tóxicos.

Una muestra de la necesidad del conocimiento acerca de los metales pesados en relación con sus peligros potenciales es el rango que les adjudica la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR), que cataloga los riesgos de los desechos tóxicos de acuerdo con su prevalencia y la gravedad de la intoxicación que originan (ATSDR, 2018). Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio (Pérez y Azcona, 2012).

Metales pesados en los suelos

En múltiples ocasiones el suelo es el punto de partida de las cadenas tróficas, entonces, de manera directa o indirecta, es el punto de origen de elementos básicos para la vida como son: proteínas, minerales, vitaminas, entre otras sustancias. Cuando estos elementos básicos llegan al hombre, entonces pueden cumplir roles esenciales en diversos procesos que se desarrollan en los seres humanos. No obstante, estas sustancias no están en formas metabolizables, al ingresar en el organismo alteran todas las funciones metabólicas y pueden producir enfermedades e, incluso, la muerte (Hernando Costa y López Lafuente, 2007).

Según Morton-Bermea (2006) son tres los factores fundamentales que insiden sobre la abundancia de los elementos químicos en la superficie de nuestro planeta. Los mismos van desde la formación de los elementos en las estrellas, la separación de la corteza continental y la atmósfera del manto de la tierra, hasta la transformación de corteza terrestre. Para la autora, la interacción agua, roca y atmósfera tiene incidencia sobre la transformación de la corteza de nuestro planeta.

Aunque de manera natural determinados niveles de metales pesados están presentes en los suelos, no es menos cierto que debido a factores naturales y preferentemente producto de la actividad humana se pueden incrementar los contenidos de estas sustancias en el medio ambiente y en especial en los suelos (Intawongse y Dean, 2006). Es conocido que los metales pesados pueden mantenerse en los suelos por periodos de tiempo muy prolongados (Intawongse y Dean, 2006), lo que conlleva a que sus daños potenciales se mantengan latentes, aun cuando las fuentes de contaminación de las áreas desaparezcan.

Según García Céspedes et al. (2012), el desarrollo de la actividad agrícola trae consigo el consumo de grandes volúmenes de productos químicos que ofrecen grados variables de toxicidad. La aplicación de fertilizantes, abonos y productos sanitarios, así como el historial de uso del suelo y el agua de riego de calidad comprometida, constituyen factores importantes a tener en cuenta en el manejo de los sistemas agrícolas para prevenir riesgos para la salud relacionados con la presencia de metales pesados.

La determinación de contaminantes en los suelos y en los productos agrícolas no es siempre sistemática, salvo raras excepciones. En la actualidad, aún son deficientes los programas de monitoreo de metales tóxicos que posibilitan el análisis de éstos elementos en los diversos procesos agrícolas, donde se involucran diferentes variables asociadas, el desarrollo de programas de monitoreo en diferentes contextos posiblemente contribuirá a predecir el comportamiento de los contaminantes y su relación con el estado de salud de una comunidad (Rashed, 2010,

Fernández-Caliani, 2012, Cachada et al., 2012).

Dada la importancia de este aspecto en la literatura científica existe un cúmulo importante de trabajos en que se determinen los niveles de metales en suelos y en especial en suelos agrícolas, ya sea propiamente dedicados a la actividad agrícola o en suelos con otros usos preferentes que se han adaptado a con fines de producción de cultivos alimentarios (Yu et al., 2012, Olivares Rieumont et al., 2013; Kachenko y Singh, 2006, Díaz Rizo et al. 2015, Mapanda et al., 2005).

En las últimas décadas ha existido un considerable interés en el establecimiento de estándares y lineamientos encaminados a la gestión y manejo de los contaminantes en los sistemas agrícolas, con el creciente desarrollo de una agricultura sostenible que promulga un sistema basado en prácticas conservadoras del medio ambiente, dejando a un lado las prácticas inapropiadas e irracionales con visión totalmente mercantilista.

Paso de los metales pesados a las plantas

Los problemas ambientales de los metales pesados en los suelos están íntimamente relacionados con su carácter tóxico en sí o cuando éstos se acumulan o interactúan con otras sustancias, llegando a moverse a través del perfil a la cadena trófica mediante los cuerpos de agua o los cultivos y pueden llegar a afectar la salud humana. Los metales pesados tienden a bioacumularse en diferentes cultivos, la movilidad de éstos a través del suelo es un serio problema medioambiental y un objetivo en la investigación a nivel global (González et al., 2007; García Céspedes et al., 2012; Olivares Rieumont et al., 2013; Gall et al., 2015; Khan et al., 2015).

De acuerdo con Navarro-Aviñó et al. (2007), a pesar de que los metales pueden mantenerse retenidos en los suelos a causa de diferentes mecanismos, existen también alternativas de movilización de los mismos a partir de esta matriz. Entre las opciones presentadas se encuentran, su disolución en las aguas superficiales o subterráneas, la volatilización a la atmósfera o la absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas. A lo anterior habría que añadir lo discutido por Gall et al. (2015) que considera que los metales pesados pueden incorporarse a microorganismos del suelo y también a invertebrados.

Los metales presentes en los suelos pueden ser tomados por las plantas principalmente por medio de las raíces, siendo así una vía de entrada a la cadena alimenticia a través de los organismos herbívoros (Hashemi, 2012; Kapungwe, 2013). Una vez en la cadena alimenticia, los metales tienden a bioacumularse y biomagnificarse a medida que pasan por todos los niveles tróficos; por lo que los organismos que ocupan niveles tróficos más altos sufren de concentraciones aumentadas de estos metales y esto se puede manifestar con problemas físicos y neurológicos en los animales (Al-Shami et al., 2012, Hassen y Sridhar, 2013).

La absorción de metales pesados por las plantas es, sin lugar a dudas, un proceso muy importante para la incorporación de éstos en la cadena alimentaria. Para Khan et al. (2015) la interacción suelo - planta es a todas luces, la mayor responsable de la incorporación de los metales a las plantas, en comparación de otras posibles interacciones de las plantas. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia de la movilidad de los metales y su disponibilidad en el suelo (Gall et al., 2015). Los mecanismos a través de los

cuáles se considera que las plantas pueden limitar la entrada o permitir la acumulación de metales han sido recogidos de manera muy clara y resumida por parte de Gall et al. (2015), indicándose las alternativas más atribuidas para las plantas que excluyen los metales pesados, las que los toleran y las que los acumulan.

Los metales pesados en los suelos causan impactos en los cultivos ya que son asimilados por las plantas durante el proceso de absorción de nutrientes, pudiendo terminar su ciclo en el cuerpo humano durante la ingesta de los mismos por parte de los seres humanos. De acuerdo a Guerra et al. (2012) la ingestión de vegetales es una de las vías a través de las cuales los metales pesados se incorporan a los seres vivos, teniendo a los huesos y los tejidos grasos un lugar de depósito, posterior a los cual se liberan en el cuerpo. Los vegetales son un cultivo económico (Liu et al., 2013), además, contienen carbohidratos, proteínas, además, pueden contener vitaminas, minerales y elementos trazas (Chary et al., 2008), por lo cual se consumo es muy importante para los seres humanos.

En el escenario actual donde se desarrolla la actividad agrícola, es común la incidencia de contaminantes químicos en las matrices ambientales agua, suelo y aire. La interacción de contaminantes con los cultivos agrícolas, puede comprometer la calidad e inocuidad de los alimentos al incorporarse a través de diferentes mecanismos y por último al ser humano, como máximo eslabón de la trama trófica. En este sentido, según Khan et al. (2015) un efecto indirecto de la contaminación con metales pesados en los cultivos de vegetales está dado por la disminución de sus componentes nutricionales.

No es de extrañar entonces que en la literatura especializada puedan encontrar numerosos trabajos donde se evalúan los niveles de metales pesados en alimentos procedentes de plantas, en especial en vegetales, granos y frutas. Algunos ejemplos se presentan a continuación, Olivares Rieumont et al. (2013) determinó los niveles de cadmio, plomo, cobre y zinc en hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de La Habana, Cuba, y encontró que algunas de las muestras sobrepasaron los límites máximos permisibles de plomo, zinc y cadmio en alimentos destinados al consumo humano al comparar con los valores establecidos por la norma cubana. Pan et al. (2016) en su estimación de metales y metaloides en vegetales para consumo humano en Zhejiang, China, no encontró una distribución geográfica regular de los metales en el área analizada, no obstante, el 0.25% y el 1.56% de las muestras para cadmio y plomo, respectivamente, sobrepasaron las concentraciones máximas permitidas por el Ministerio de Salud de China.

Por otro lado, en Liu et al. (2013) se presentaron los niveles de plomo, cromo, arsénico, cadmio y mercurio en vegetales en tres áreas de Zhejiang, China, encontrando que los contenidos metálicos variaban entre los metales y los vegetales analizados; los mayores contenidos entre los elementos se detectaron para el plomo y los menores para el mercurio, en base a los resultados obtenidos los autores recomendaron no consumir grandes cantidades de los vegetales procedentes de las zonas evaluadas. Chary et al., 2008 analizó los contenidos de cuatro metales pesados en vegetales colectados en las cercanías del río Musi en la India, encontró niveles elevados de los cuatro y en especial los niveles de zinc, cromo y plomo fueron superiores a los recomendados

en diversas guías calidad de alimentos. Favorablemente, en Sao Pablo, Brasil, fueron colectadas muestras de vegetales y frutas en diferentes lugares de expendio y se encontró que favorablemente su consumo podía considerarse seguro y sin riesgo a la salud humana con respecto a los niveles de metales pesados (Guerra et al., 2012)

Metales pesados y efectos a la salud

Es conocido que los metales pesados producen efectos tóxicos a plantas y a animales, esta afectación depende del tipo de metal y varía entre especies (Gall et al., 2015). En los seres humanos también los efectos a la salud producto de los metales pesados son conocidos desde hace mucho tiempo. A pesar de los numerosos esfuerzos por disminuir la contaminación ambiental, la exposición a los mismos continúa, y los niveles de emisiones continúan incrementándose en algunos lugares del mundo en particular en ciudades en vías de desarrollo, en países desarrollados estas emisiones han disminuido en los últimos 100 años (Järup, 2003).

No solo el contacto con los metales desde el punto de vista ocupacional es relevante con respecto al riesgo considerable para la salud, también el contacto ambiental con los mismos también es relevante (Pérez García y Azcona Cruz, 2012). Los metales pesados pueden bioacumularse en los organismos, por lo que la exposición frecuente a bajas dosis trae consigo la acumulación de los metales en diferentes partes del organismo, lo que puede resultar en dosis elevadas, capaces de producir daños o una enfermedad.

La salud y el bienestar de las personas están íntimamente relacionadas a las condiciones de los ecosistemas. Las actividades que la sociedad realiza producen hondos secuelas en el entorno, con alcances complejos y

vigorosos; particularmente sobre aquellos sistemas considerados como los medios de vida, atentando además contra la salud humana y la sustentabilidad de los sistemas (Alam y Jones, 2014).

La contaminación causada por metales pesados es una preocupación en salud pública a nivel global, regional y local que tiene influencia sobre la funcionalidad y la integridad de la estructura de los ecosistemas. Los conocimientos acerca de los riesgos que la contaminación del suelo en la salud humana tienden a ampliarse constantemente. Sin embargo, la falta de estudios concretos sobre procesos difusos de contaminación hace que los efectos de los mismos tarden años en describirse, sin olvidar que es difícil determinar su causa en las enfermedades degenerativas y en muchos casos, las causas son multifactoriales (Tona et al., 2013).

Las vías de entrada de estos compuestos al organismo se presentan a través de la inhalación de polvo, ingestión directa de suelo y agua, contacto dérmico con aguas o suelos contaminados y consumo de vegetales provenientes de campos contaminados (Rathanavel y Thillai, 2013). Se estima que los factores de riesgo ambiental tienen, a nivel mundial, un rol significativo en más de 80 importantes enfermedades y lesiones. El 24% de la carga global de enfermedad y 23% de las muertes pudieran prevenirse mediante intervenciones ambientales, mientras que 33% de las enfermedades de los niños menores de cinco años se debe a la exposición a riesgos ambientales evitables, afectando principalmente a las poblaciones más pobres (OMS, 2010, Al-Shami et al., 2012). Las intoxicaciones por productos químicos industriales y agroquímicos equivalen a una carga global de enfermedad de por lo menos 1.2 millones de muertes, que corresponde

hasta el 2% del total de muertes y 1,7% de la carga global de enfermedad (Prüss-Ustün et al., 2011).

Los metales pesados, en general, tienen influencia sobre procesos metabólicos vitales, provocando daños en cualquier eslabón de la cadena alimenticia. Pueden sustituir componentes de enzimas específicas y otros metales catalizadores, produciéndose alteraciones bioquímicas que afectan en mayor o en menor grado el sistema biológico, debido a la inestabilidad estructural y funcional del mismo. Estas sustancias, al pasar a lo largo de la cadena de consumo, lo hacen en concentraciones no dañinas, pero al incrementarse su tenor, afectan los miembros superiores de las cadenas alimenticias (Hofer et al., 2010). El daño causado puede ser subclínico más que clínico, siendo provocado por concentraciones tóxicas crónicas más que agudas. Las enfermedades producidas por metales, reflejan con frecuencia diferencias en absorción, distribución o metabolismo (Nava y Méndez, 2011). Los síntomas son variados y dependen de la naturaleza y la cantidad del metal pesado, así como la forma en que ha sido incorporado al organismo. Pacientes que han ingerido metales pesados pueden quejarse de espasmos, náuseas, vómitos, diarreas, dolor de estómago, sudoración y un sabor metálico en a boca. En casos graves de intoxicación, los pacientes muestran afectaciones evidentes de las habilidades cognitivas, motoras y del lenguaje.

Los metales pueden ser considerados importantes en el proceso de formación de los radicales libres (Nava y Méndez, 2011), los cuales causan estrés oxidativo e inhiben la reparación de los daños al ADN, cambian la estructura de las proteínas y de los anticuerpos del sistema inmune, compiten y desplazan a los minerales esenciales, como el

Zn, el Cu, el Mg y el Ca, e intervienen con las funciones de los sistemas orgánicos. Según Nava y Méndez (2011) el daño neuronal que pueden provocar los metales pesados puede estar relacionado con el estrés oxidativo causado, la interferencia con el metabolismo del calcio y la unión a proteínas por medio de los grupos sulfhídricos.

Aunque la ingesta de plantas como parte de nuestra dieta puede ser considerada como la vía principal de exposición a los metales, según Martin y Griswold (2009) otras vías de incorporación de metales pueden estar relacionadas con la inhalación de los contaminantes al fumar, la inhalación de los contaminantes al quemarse el material vegetal, el uso de materiales derivados de plantas como tónicos para la promoción de la salud, volatilización de materiales vegetales o la inhalación o contacto con artesanías derivadas de material vegetal.

Es de particular importancia mencionar, al menos de manera breve, los efectos a la salud y otros aspectos de interés que se asocian a un grupo de metales y metaloides (arsénico, cadmio, cromo, plomo y mercurio). Por ejemplo, Peralta-Videa et al. (2009) considera que el arsénico puede conducir a diferentes tipos de cáncer, una de las posibles fuentes de este elemento es el consumo de arroz contaminado en este elemento químico. Para este mismo elemento Londoño-Franco et al. (2016) considera que la toxicidad crónica causa lesiones en la piel y lesiones vasculares en el sistema nervioso e hígado.

De acuerdo con Londoño-Franco et al. (2016) el cadmio es un elemento relativamente escaso en la naturaleza, su fuente fundamental de exposición en los seres vivos son los alimentos y el agua. Diversas manifestaciones puede tener la exposición a este tóxico que pueden variar desde

anemia y disfunción renal hasta, en casos de intoxicación aguda, generarse aberraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y también congénitos (Londoño-Franco et al., 2016). Para Peralta-Videa et al. (2009) el arroz cultivado en suelos contaminados con este elemento puede ser una fuente importante de este metal a los seres humanos; este elemento puede atacar no solo el hígado, los huesos y los riñones, sino que también puede afectar el sistema reproductivo de las mujeres.

Por otro lado, es conocido que el cromo puede generar cáncer en los seres humanos, este elemento puede ser incorporado por el consumo, entre otros, de vegetales o arroz contaminados o a través de la inhalación al fumar (Peralta-Videa et al., 2009). Para el caso de este elemento los efectos tóxicos dependen del estado químico del mismo siendo más marcados los daños que pueden generarse por el cromo en estado de oxidación +6. Según Molina Montoya et al. (2010) el cromo (VI) puede producir lesiones graves que pueden incluso llegar a la muerte, para Martin y Griswold (2009) el cromo (III) es un nutriente esencial. No obstante, para según Molina Montoya et al. (2010) para el Cr (III) una exposición corta puede causar irritación de los ojos y el tracto respiratorio, esto posiblemente cuando los niveles del elemento sean elevados.

El plomo puede tener numerosos efectos tóxicos relevantes en numerosos órganos y sistemas de órganos de los seres humanos, no obstante, posiblemente sus efectos neurotóxicos son los más graves se manifiestan en el sistema nervioso (Peralta-Videa et al., 2009, Molina Montoya et al., 2010). Ante altos niveles de exposición las mujeres embarazadas se pueden tener abortos espontáneos, mientras que los hombres

pueden sufrir daños en los órganos que producen el espermatozoides (Martin y Griswold, 2009).

Algunos compuestos del mercurio han sido identificados como posibles carcinogénicos en seres humanos (Martin y Griswold, 2009, Londoño-Franco et al., 2016). Mientras que se ha detectado que el sistema nervioso es muy sensible a diversos compuestos de este elemento (Peralta-Videa et al., 2009, Martin y Griswold, 2009). Según Bernhoft (2012) debido a la posibilidad que tiene el mercurio de acumularse en numerosas partes del organismo, los posibles síntomas asociados con el mercurio pueden ser amplios, sin embargo, aún no se suele considerar a la intoxicación con este elemento o sus compuestos como posible causa de un grupo de manifestaciones clínicas comunes.

Finalmente es conveniente considerar lo sugerido por Duruibe et al. (2007), aunque algunos metales pesados en bajas concentraciones tienen importancia biológica, para ellos es necesario mantener las precauciones necesarias en su ingestión, así como mantener una adecuada higiene ocupacional. Mientras que para el caso de los metales pesados que generan efectos tóxicos, es preferible evitar los procesos de contaminación ambiental y con ello los consecuentes efectos tóxicos de estas sustancias causan, todo ello a pesar de que las intoxicaciones con los mismos puedan ser clínicamente diagnosticadas y en algunos casos medicamente tratadas.

Consideraciones finales

Los metales pesados constituyen importantes agentes tóxicos (incluyendo aquí a los esenciales en altas concentraciones) que suponen riesgos para la salud humana por exposición ocupacional y ambiental. La

aplicación del enfoque de ecosalud constituye una alternativa viable de carácter científico, participativo y multidisciplinario donde los actores locales pueden apoderarse de los conocimientos y contribuir directamente a la solución de los problemas existentes y como elemento fundamental la prevención de enfermedades.

Cada vez más son las enfermedades y riesgos para la salud que se documentan y que relacionados con el medio ambiente, las actividades productivas y los metales tóxicos. El mejoramiento de la salud humana depende del manejo adecuado de los sistemas naturales y del control y regulación de las actividades productivas.

Literatura citada

- Abdelkhalek, A., Elsherbini, M., & Gunbaej, E. E. (2015). Assessment of Heavy Metals Residues in Milk Powder and Infant Milk Formula Sold in Mansoura City, Egypt. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 47(1), 71-77.
- Alam, G. & Jones, B. C. (2014). Toxicogenetics: in search of host susceptibility to environmental toxicants. *Front Genet.* 22 (5):327-336.
- Al-Shami, S. A., Rawi, C. S. M., Ahmad, A. H., & Nor, S. A. M. (2012). Genotoxicity of heavy metals to the larvae of *Chironomus kiiensis* Tokunaga after short-term exposure. *Toxicology and Industrial Health*, 28(8), 734-739.
- Andrade, A. (2007). *Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica*. CEM-UICM. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.idrc.net>. Consultado, 3 de junio de 2013.

- Angelova, V., Ivanova, R., Delibaltova, V., & Ivanov, K. (2004). Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial crops and products*, 19(3), 197-205.
- Appenroth, K. J. (2010a). Definition of “heavy metals” and their role in biological systems. In *Soil heavy metals*. 2010 (pp. 19-29). Springer Berlin Heidelberg.
- Appenroth, K. J. (2010b). What are “heavy metals” in plant sciences? *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(4), 615-619.
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (2018). Sitio web: <https://www.atsdr.cdc.gov/>. Acceso el 12 de diciembre de 2018.
- Batley, G. E. (2012). “Heavy metal”—a useful term. *Integrated environmental assessment and management*, 8(2), 215-215.
- Bernhoft, R. A. (2012). Mercury toxicity and treatment: a review of the literature. *Journal of environmental and public health*, 2012, 1 – 10. doi:10.1155/2012/460508
- Blanco Obando, E. (2016). Medio ambiente y desarrollo: efectos y resultados de las actividades productivas y la legislación ambiental sobre la naturaleza y las condiciones de vida de la población, en la región chorotega de Costa Rica. 1990-2014. *Diálogos Rev. Elec. de Historia*, 17(2): 3-30, ISSN: 1409-469X
- Cabrera, J. (2001). Salud, medio ambiente y participación popular: la comunidad saludable de Santa María del Rosario. ILÉ, *Anuario de ecología, Cultura y Sociedad*. 1 (1):124.
- Cachada, A., Dias, A. C., Pato, P., Mieiro, C., Rocha-Santos, T., Pereira, M. E., ... & Duarte, A. C. (2013). Major inputs and mobility of potentially toxic elements contamination in urban areas. *Environmental monitoring and assessment*, 185(1), 279-294.
- Cantú, P. C. (2012). Medio ambiente: un enfoque Ecosistémico. *Ciencia UANL*. 15(57):26-32
- Charron, D. F. (2012). *Ecohealth Research in Practice: Innovative Applications of Ecosystem Approach to Health*. ISBN 978 -1-4614-0517-7.
- Chary, N. S., Kamala, C. T., & Raj, D. S. S. (2008). Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicology and environmental safety*, 69(3), 513-524.
- Chung, B. (2008). Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*. 25(4):413-18.
- Davies, B. E. (1987). Consequences of environmental contamination by lead mining in Wales. In *Ecological Effects of In Situ Sediment Contaminants* (pp. 213-220). Springer, Dordrecht.
- Díaz Rizo, O., Lima Cazorla, L., García Céspedes, D., D'Alessandro Rodríguez, K., Torres Leyva, O., Olivares Rieumont, S., & Blanco López, Y. T. (2015). Assessment of heavy metal content in urban agricultural soils from the surrounding

- of steel-smelter plant using X-ray fluorescence. *Nucleus*, (57), 38-43.
- Duffus, J. H. (2002). Heavy metals-a meaningless term? *Pure Appl Chem*. 74(5):793-807.
- Duruibe, J. O., Ogwuegbu, M. O. C., & Egwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of physical sciences*, 2(5), 112-118.
- Feito, M. C. (2011). Problemáticas socioambientales producidas por el avance de urbanizaciones sobre producciones intensivas del periurbano de Buenos Aires. *Nadir: rev. electron. geogr. austral* ISSN: 0718-7130. 3, (2), 1-10.
- Feola, G. & Bazzani, R. (2002). *Desafíos y estrategias para la implementación de un enfoque ecosistémico para la salud humana en los países en desarrollo. Reflexiones a propósito de las consultas regionales realizadas*. ISBN 9974-39--. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/27531/121119.pdf?sequence=1>.
- Fernández-Caliani, J. C. (2012). Risk-based assessment of multimetallic soil pollution in the industrialized peri-urban area of Huelva, Spain. *Environmental geochemistry and health*, 34(1), 123-139.
- Forget, G. & Lebel, J. (2001). An ecosystem approach to human health. *Int J Occup Environ Health*. 7:33-38.
- Forget, G. (2002). *Un mejor manejo del ecosistema para una mejor salud humana: El enfoque ecosistémico para la salud humana*. En: Una consulta conjunta del CIID, UNAMAZ y CENDES. Disponible en: <https://idl-bnc-idrc.ca/dspace/bitstream/10625/27531/1/121119.pdf>.
- Gall, J. E., Boyd, R. S., & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental monitoring and assessment*, 187(4), 201.
- García Céspedes, D., Romero, J. L. S., Rieumont, S. O., Gutiérrez, L. R., Calderón Peñalver, P. A., Cazorla, L. L., & Ávila Roque, I. (2012). Evaluación de la incorporación de metales pesados al agroecosistema. Rol de las prácticas productivas ejecutadas por los trabajadores agrícolas. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 13(1), 3-9.
- González, C., Quintana, J. R., de Santiago, A. & López, A. (2007). Retención de metales pesados en suelos: riesgos para la salud. Schironia. *Revista científica del Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid*. (6). Disponible en: www.cofm.es.
- Guerra, F., Trevizam, A. R., Muraoka, T., Marcante, N. C., & Canniatti-Brazaca, S. G. (2012). Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. *Scientia Agricola*, 69(1), 54-60.
- Guerrero, L. & León, A. (2008). Aproximación al concepto de salud. Revisión histórica. *Fermentum*. 18 (53), 610-633.
- Hashemi, S. A. (2012). Investigation of heavy metal pollution of trees in a contaminated industrial area in the

- north of Iran. *Toxicol Ind Health*. 29 (10): 931-934.
- Hassen, A. H. & Sridhar, S. (2013). Health Hazards Due to Heavy Metal Poisoning and other Factors in Sea Foods. *Int J Pharm Sci Rev Res*. 18 (2): 33-37.
- Hernando Costa, J. & López Lafuente, A. (2007). Degradación del suelo por contaminación y su repercusión en la salud humana. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*. Disponible en: <https://analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/597/614>.
- Hodson, M. E. (2004). Heavy metals—geochemical bogey men?. *Environmental Pollution*, 129(3), 341-343.
- Hofer, C., Gallagher, F. J. & Holzapfel, C. (2010). Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. *Environ pollut*. 158(5): 1207-1213.
- Intawongse, M., & Dean, J. R. (2006). Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract. Food additives and contaminants, 23(1), 36-48.
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British medical bulletin*, 2003, 68(1), 167-182.
- Kachenko, A. G., & Singh, B. (2006). Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 169(1-4), 101-123.
- Kapungwe, E. M. (2013). Heavy Metal Contaminated Water, Soils and Crops in Peri Urban Wastewater Irrigation Farming in Mufulira and Kafue in Zambia. *J Geogr Geol*. 5 (2): 55-72.
- Khan, A., Khan, S., Khan, M. A., Qamar, Z., & Waqas, M. (2015). The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(18), 13772-13799.
- Lebel, J. (2003). *Health: an ecosystem approach*. Montreal. Ottawa, Canadá. IDRC. ISBN 1-55250-012-8.
- Lebel, J. (2005). *Salud. Un enfoque ecosistémico*. Ottawa, Canadá. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. ISBN 1-55250-174-4.
- Leme, D. M., Grummt, T., Heinze, R., Sehr, A., Renz, S., Reinel, S., ... & Zocolo, G. J. (2012). An overview of biodiesel soil pollution: Data based on cytotoxicity and genotoxicity assessments. *Journal of hazardous materials*, 199, 343-349.
- Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J., ... & Brookes, P. C. (2013). Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-medium analysis. *Science of the Total Environment*, 463, 530-540.
- Llugany, M., Tolrà, R., Poschnrieder, C. & Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?. *Ecosistemas*. 16(2):4-9.

- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2005). The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), 151-165.
- Martin, S., & Griswold, W. (2009). Human health effects of heavy metals. *Environmental Science and Technology briefs for citizens*, 15, 1-6.
- Mergler, D. (2014). *Un enfoque Ecosistémico para la salud ocupacional: reducir la brecha*. SALTRA. ISSN: 22153152.
- Mertens, F., Saint, J. & Mergler, D. (2012). Social communication network analysis of the role of participatory research in the adoption of new fish consumption behaviors. *Social Science and Medicine*. 75(4): 643-650.
- Molina Montoya, N. P., Aguilar Casas, P., & Cordovez Wandurraga, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 8(1), 77-88.
- Montes C. & Sala O. (2007). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas*. 16 (3): 137-147.
- Mora Marín, M. A., Rios Pescador, L., Rios Ramos, L., & Almario Charry, J. L. (2017). Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia. *Ingeniería y Región*, 17, 1-12.
- Morton-Bermea, O. (2006). Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México. *Tip Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 9(1), 45-47.
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8(3), 199-216.
- Nava, C. & Méndez, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién (Mex)*. 16, (3): 140-147.
- Navarro-Aviñó, J. P., Aguilar-Alonso, I., López-Moya J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas . *Ecosistemas*. 2007/2 (URL: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488&Id_Categoria=1&tipo=portada)
- Ole, N. (2002). The meaning of health. *Ecosystem Health*. 5(2): 65-66.
- Olivares Rieumont, S., García Céspedes, D., Lima Cazorla, L., Saborit Sánchez, I., Llizo Casals, A., & Pérez Alvares, P. (2013). Niveles de Cadmio, Plomo, Cobre y Zinc en Hortalizas cultivadas en una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, Cuba. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 29(4), 285-294.
- OMS. Organización Mundial de la Salud (1994). *Salud, medio ambiente y desarrollo; enfoques para la preparación*

- de estrategias a nivel de países para el bienestar humano, según la Agenda 21. Ginebra.
- OMS. Organización Mundial de la Salud (2010). *Informe sobre la salud en el mundo: la financiación de los sistemas de salud: el camino hacia la cobertura universal*. Ginebra. Disponible en: <http://www.who.int/whr/2010/es/>
- Pan, X. D., Wu, P. G., & Jiang, X. G. (2016). Levels and potential health risk of heavy metals in marketed vegetables in Zhejiang, China. *Scientific reports*, 6, 20317.
- Peralta-Videoa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G., & Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 41(8-9), 1665-1677.
- Pérez García, P. E., & Azcona Cruz, M. I. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199-205
- Pérez, P. E. & Azcona, M. I. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*. 17(3)199-205.
- Pourret, O., & Bollinger, J. C. (2017). 'Heavy Metals'-What to do now: To use or not to use?. *Science of the Total Environment*, 610, 419-420.
- Prüss-Ustün, A., Vickers, C., Haefliger, P., & Bertollini, R. (2011). Knowns and unknowns on burden of disease due to chemicals: a systematic review. *Environmental health*, 10(1), 9.
- Raeburn, J. & Rootman, I. (1998). *People - Centred Health Promotion*. ISBN 0-471-97137-5.
- Raikwar, M. K., Kumar, P., Singh, M., & Singh, A. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary world*, 1(1), 28-30.
- Rashed, M. N. (2010). Monitoring of contaminatex toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*. 178(1): 739-746.
- Rathanavel, C. & Thillai, P. (2013). Quantification of heavy metals and minerals in selected Indian medicinal plants using atomic absorption spectrophotometer. *Int J Pharm Bio Sci*. 4 (3): 897-908.
- Rengifo, H. (2008). Conceptualización de la salud ambiental: Teoría y práctica (parte 1). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 25 (4):403-9.
- Rodríguez Bertheau, A. M., Martínez Varona, M., Martínez Rodríguez, I., Fundora Hernández, H., & Guzmán Armenteros, T. (2011). Desarrollo tecnológico, impacto sobre el medio ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 49(2), 308-319.
- Roy, S. P. (2010). Overview of heavy metals and aquatic environment with notes on their recovery. *Ecoscan*, 4(2-3), 235-240.
- Sabath, E. & Robles-Osorio, M. L. (2012). Medio ambiente y riñón:

- nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología*. 32 (3):279-86.
- Suárez Tamayo, S., & Molina Esquivel, E. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 357-363.
- Tona, G. O., Adetunji, V. O., Ameen, S. A. & Ibikunle, A. O. (2013). Evaluation of Lead and Cadmium Heavy Metal Residues in Milk and Milk products Sold in Ogbomoso, Southwestern Nigeria. *Pak J Nutr*. 12 (2): 168-171.
- Waltner-Toews, D. (2001). An ecosystem approach to health and its applications to tropical and emerging diseases. *Cad Saude Publica*. 17 Suppl: 7-22; discussion 23-36.
- Webb, J. C., Mergler, D., Parkes, M. W., Saint-Charles, J., Spiegel, J., Waltner-Toews, D., ... & Woollard, R. F. (2010). Tools for thoughtful action: the role of ecosystem approaches to health in enhancing public health. *Canadian Journal of Public Health/Revue Canadienne de Sante'e Publique*, 439-441.
- Yu, S., Zhu, Y. G., & Li, X. D. (2012). Trace metal contamination in urban soils of China. *Science of the total environment*, 421, 17-30.
- Zaady, E., Brenig, L., Carati, D., Meurrens, A., Lénelle, Y., Vanderstraeten, P., & Offer, Z. Y. (2010). Heavy Metals Identified in Airborne Particles During Weekend Periods in Brussels Urban Environment. In *Forum geografic* (No. 9, p. 87). University of Craiova, Department of Geography.
- Zinsstag, J. (2012). Convergence of EcoHealth and One Health. *Ecohealth*. 9(4): 371-3.