

Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L

Heavy metals agroenvironmental risk in soils with cultivate Oryza sativa L. and Solanum tuberosum L

Ing. Welbry Delince, Dr.C. Ramiro Valdés Carmentate, Ing. Olivia López Morgado, Dr.C. Fernando Guridi Izquierdo, Dr.C. María I. Balbín Arias

Universidad Agraria de La Habana, Facultad Agronomía, Grupo FITOPLANT, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. Los procesos tecnológicos productivos donde se destacan el uso no controlado de agroquímicos contribuyen a que exista alto riesgo y vulnerabilidad en los agroecosistemas. Frente a esta problemática se establece como objetivo determinar los contenidos de Cu, Ni, Cd y Pb en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones de producción y de Cu, Zn y Pb en arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones semicontroladas; así como algunos indicadores bioquímicos-fisiológicos y la evaluación agroecológica del área con el cultivo de papa en la comunidad de Güines. Se determinaron los pigmentos fotosintéticos totales clorofila (a+b) y carotenoides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), a los 40 días después de la siembra (DDS), el contenido de metales pesados (MP) y la actividad de la enzima catalasa (EC 1.11.1.6) a los 60 DDS para el cultivar de arroz, mientras se evaluaron el contenido de MP en los diferentes órganos de la papa (tubérculos, hojas, tallos) y en el suelo a los 95 DDP. Para el diagnóstico de los campos de producción de papa se utilizó metodología para el diagnóstico de áreas agrícolas con riesgo de contaminación por metales pesados. Se detectaron que poseen altos niveles de MP en sus órganos sin síntomas visibles de fitotoxicidad, así como en los suelos después de la cosecha, se consideran como cifras alertadores, por eso se han realizado talleres con participación de todos los actores sociales involucrados, implementándose un grupo de medidas (fitotécnicas, recuperativas, ambientales y capacitación) que contribuyen a minimizar el riesgo de afectación.

Palabras clave: riesgos agroambientales, metales pesados, suelos.

ABSTRACT. The productive technological processes where they stand out the not controlled use of agrochemicals contribute that high risk and vulnerability exists in the agroecological. For this problems establishes like target to determine the Cu contents, Cd and Pb, in the cultivation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in conditions of production and of the rice (*Oryza sativa* L.) Cu, Zn and Pb in in semicontrolled conditions; as well as some biochemical - physiological indicators and the evaluation agroecological of the area with the potato cultivation in the Güines community. The entire photosynthetic pigments determined chlorophyll (a+b) and carotenoides ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), to 40 days after the sowing (DDS), the content of heavy metals (MP) and the activity of the enzyme catalasa (EC 1.11.1.6) to 60 DDS for cultivating of rice, while the MP content was evaluated in the different organs of the potato (tubers, sheets, stems) and in the soil to 95 DDP. For the diagnosis of the fields of production of pope methodology was used for the diagnosis of agricultural areas at the risk of contamination by heavy metals. It were detected that they possess high MP levels in its organs without out symptoms of phytotoxicity, as well as in the soils after the harvest, there are considered to be numbers alertadores, that's why workshops have been realized with participation of all the involved social actors, a group of measures being implemented (phytotechnic recovery, environmental and capacity building measures) that help to minimize the affectation risk.

Keywords: agroenvironmental risk, heavy metals, soils.

INTRODUCCIÓN

Desde hace algunos años, los metales pesados (MP) constituyen un serio peligro para la humanidad, ya que una vez en el suelo, siguen varias vías que conducen a las cadenas tróficas. Mediante la absorción o lavado; dependiendo de la solubilidad, movilidad y volatilización de cada uno de los elementos, pueden

llegar a los organismos vivos a través de la piel, las mucosas y el sistema respiratorio produciendo daños agudos e incluso la muerte. (Achiba *et al.*, 2009)

En este sentido el arroz es el cereal más importante para el consumo humano y constituye el alimento básico para más

de la mitad de la población mundial. Llega a poseer riesgos de contaminación por MP lo que puede resultar un peligro potencial para el consumidor causando un profundo impacto en la población (Komoshita *et al.*, 2008; Méndez *et al.*, 2009). El rango de acumulación de algunos elementos en el material de consumo (grano) oscila entre 0,5-5,1 mg·kg⁻¹ para Cu; 7,2-28 mg·kg⁻¹ para Zn y 0,002-0,07 mg·kg⁻¹ para Pb en base seca Kabata-Pendias (2000).

Otra especie de planta considerada hiperacumuladora de elementos tóxicos es la papa con un rango promedio de presencia de MP en tubérculos que oscila entre: 0,021 mg·kg⁻¹ para Cd; 0,29-1,0 mg·kg⁻¹ para Ni; 3,0-6,6 mg·kg⁻¹ para Cu; 10-26 mg·kg⁻¹ para Zn en base seca Kabata-Pendias (2000). Este cultivo ocupa un lugar importante en la dieta alimentaria del pueblo cubano con un consumo anual per cápita de 25 kg, tiene una atención especial en los programas de la agricultura, a lo cual se le han dedicado como promedio 10 millones de dólares anuales para su producción, debido al alza de los precios de los insumos en el mercado internacional. Jiao *et al.* (2012)

La evaluación del riesgo de transferencia de contaminantes a la cadena trófica, su acumulación en el fruto agrícola y los efectos tóxicos sobre la salud humana y animal, es un objetivo priorizado del Ministerio de la Agricultura para la toma de decisiones. Existen zonas agrícolas cercanas a fuentes contaminantes que constituyen una amenaza para la seguridad alimentaria, debido a la insuficiencia en el tratamiento de los residuales.

El riesgo ambiental es entendido como la posibilidad de que se produzca un daño o catástrofe en el medio ambiente debido a un fenómeno natural o a una acción humana. La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés EPA-USA) concibe al riesgo ambiental como la posibilidad de efectos dañinos a la salud humana o a los ecosistemas resultante de la exposición a un estresor ambiental (cualquier entidad o cosa física, química o biológica que puede inducir una respuesta adversa o afectar desfavorablemente algunos recursos naturales o ecosistemas completos)¹.

No obstante, en muchas empresas de producción se desconocen los niveles de afectación por MP en los cultivos pese a la importancia que reviste cuantificar el grado de contaminación como principio inviolable para garantizar la seguridad alimentaria del pueblo; por eso frente a esta problemática se establece como objetivo determinar los contenidos de Cu, Ni, Cd y Pb en los cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) y para el caso de arroz (*Oryza sativa* L.), Cu, Zn y Pb así como el comportamiento de algunos indicadores bioquímicos-fisiológicos en este último, en condiciones semicontrolada sometida bajo el estrés metálico y la evaluación del riesgo agroalimentario y los impactos del cultivo de la papa en la comunidad de Güines.

MÉTODOS

Fase experimental

La primera fase experimental se realizó en el área de aclimatación de la Facultad Agronomía de la Universidad Agraria

de La Habana (UNAH), ubicada en su sede central en San José de las Lajas, Mayabeque. Se emplearon semillas arroz (*Oryza Sativa* L.) del cv. IAC-30, que una vez germinadas se trasplantaron a bolsas de polietileno que contenían 500 g de un suelo Ferralítico Rojo hidratado según Hernández *et al.* (1999) previamente contaminado con MP. Se siguió un diseño experimental completamente aleatorizado en condiciones semicontroladas en donde el factor en estudio (MP) fue el que provocó las variaciones y el resto de las condiciones se mantuvieron constantes.

Los MP seleccionados fueron cobre con (CuSO₄), zinc con (ZnSO₄) y plomo (Pb (NO₃)₂) (reactivos empleados puros analíticamente que se adicionaron en disolución acuosa en tres concentraciones 40 días antes de la siembra. Las disoluciones de estos MP se prepararon a partir de reactivos de pureza analítica. El experimento tuvo 10 tratamientos (Tabla 1) con 5 réplicas de cada uno, seleccionados según los valores tóxicos expresados por Kabata-Pendias (2000).

TABLA 1. Tratamientos estudiados en el cultivo del arroz

Tratamiento	Dosis
Control	Agua destilada
Cobre 1	Cu1- 75 mg·L ⁻¹
Cobre 2	Cu2-140 mg·L ⁻¹
Cobre 3	Cu3-280 mg·L ⁻¹
Zinc 1	Zn1-150 mg·L ⁻¹
Zinc 2	Zn2-300 mg·L ⁻¹
Zinc 3	Zn3-600 mg·L ⁻¹
Plomo 1	Pb1-150 mg·L ⁻¹
Plomo 2	Pb2-300 mg·L ⁻¹
Plomo 3	Pb3-600 mg·L ⁻¹

En estas plantas de arroz, se determinó el contenido en base seca de los pigmentos fotosintéticos totales clorofila (a+b) y carotenoides (µg·g⁻¹), para lo que se colocaron discos de hojas en una disolución de acetona al 80%, se refrigeraron por 72 horas a 15°C y se leyó posteriormente la absorbancia a 663 nm (clorofila a), 645 nm (clorofila b) y 460 nm (carotenoides) en un espectrofotómetro RayLight UV-2601. Los valores de concentración fueron calculados usando la fórmula propuesta por Lichtenthaler (1987) clorofilas totales y Kirk (1967) carotenoides. Todas estas determinaciones se hicieron a los 40 días después de la siembra (DDS). La actividad de la enzima catalasa (EC 1.11.1.6) se comprobó a los 60 DDS, empleándose el método propuesto por Li (2000), expresándose la actividad enzimática en mg·L⁻¹·s⁻¹.

El contenido de MP en hojas se evaluó empleando la digestión húmeda (HNO₃ + HClO₄) (3:1 v/v), realizándose las lecturas en espectrofotómetro de absorción atómica PG-990, usando como blanco la disolución extractiva. La concentración fue expresada en mg·kg⁻¹.

La segunda fase experimental se realizó en un área de producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) de 4 ha del cv.

¹ SCHINITMAN, N.: Riesgo Ambiental, Oficina Pro Bono de Educación Ambiental, 18pp., 2011.

Maranca bajo riego con máquinas de pivote central en las fincas “Caraballo” y “Bahuma” pertenecientes a la UBPC “Restituto Alonso Padrón” y la CPA “Capitán Alberto Torres” respectivamente en la campaña 2011-2012, subordinadas a la Empresa de Cultivos Varios “Miguel Soneira” del municipio Güines en la provincia Mayabeque. Se realizó un experimento a campo abierto y se agrupó el material experimental en bloques al azar en donde el factor MP fue el que provocó las variaciones; el resto de las condiciones se mantuvieron constantes.

En esta segunda fase se evaluaron las cantidades de MP en los diferentes órganos de la planta (tubérculos, hojas y tallos) y en suelo, el cual según Hernández et al. (1999) clasifica como Ferralítico Rojo hidratado. Para determinar el contenido de MP como Cu, Ni, Cd y Pb en los tejidos vegetales se utilizó el método de digestión húmeda descrito anteriormente para el cultivo de arroz y las muestras se tomaron a los 95 después de plantadas (DDP). Para el suelo, las muestras fueron tomadas al finalizar la cosecha y se determinó el contenido de MP según la metodología propuesta por Embrapa (1999). En ambos análisis se utilizó como blanco las disoluciones extractivas empleadas de cada uno de ellos. Se tomaron al azar cinco muestras de plantas y de suelo a 0-20 cm de profundidad por cada cuadrante a las cuales se les realizaron cinco réplicas de laboratorio. Para el caso de la finca Bahuma de la CPA “Capitán Alberto Torres” solo se analizaron dos cuadrantes: Buhuma el cuadrante 3 (BC3) y Bahuma el cuadrante 4 (BC4). El resto de los cuadrantes de

la finca Bahuma no se analizaron ya que no se dedican a la siembra de papa.

Además, en estas áreas de producción se empleó la metodología para el diagnóstico agroecológico de áreas con riesgo de contaminación², para lo cual se realizaron talleres con los actores sociales comunitarios a través del método acción-participación, realizándose la matriz DAFO correspondiente según³

Para el análisis de los datos de contenidos de MP en las dos fases experimentales se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para Windows 5.1 y se utilizó la prueba de ANOVA simple para lo cual se estableció un nivel de significación de 0,05 para un 95% de intervalo de confianza. Se realizaron las dójimas de comparación por Duncan para determinar entre cuales niveles se estableció la diferencia significativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los ensayos realizados del contenido de pigmentos fotosintéticos (clorofila a+b y carotenoides), se puede expresar que los tratamientos que más favorecen el contenido de pigmentos verdes con respecto al control, resultan ser los que presentan Zn en todas sus concentraciones y las concentraciones de Pb 150 y 300 mg·L⁻¹ (Figura 1). Estos resultados se encuentran en concordancia con los reportados por Velikov et al. (2011) quienes encuentran resultados similares en la planta *Populus nigra* L. en presencia de metales como Pb y Cu.

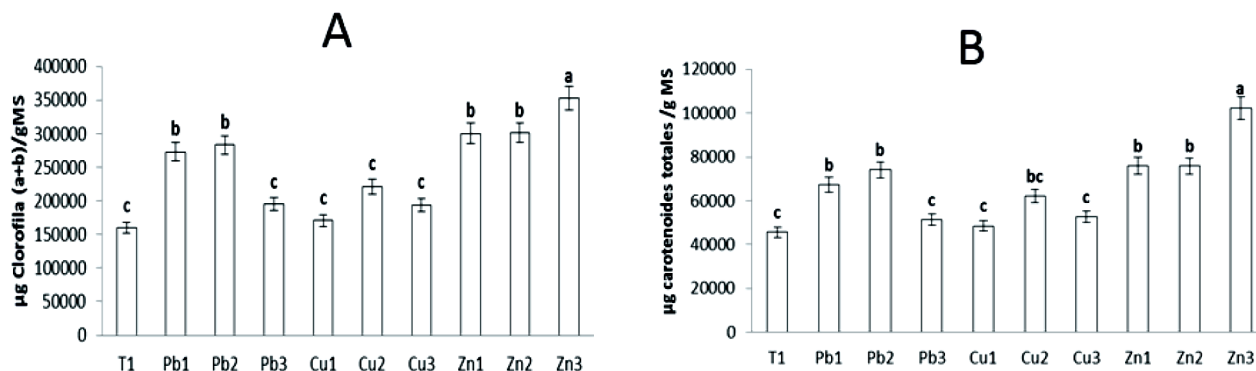


FIGURA 1. Contenido foliar de clorofila a+b (A) y carotenoides (B) en µg.g⁻¹ de masa seca (MS).

Evidentemente, los resultados indican que las concentraciones de metales pesados empleadas en el experimento no resultan ser letales para las plantas; es decir, no se evidencian efectos fitotóxicos visibles, por lo que se puede expresar que las mismas han desarrollado mecanismos de aclimatación ante las altas concentraciones metálicas que le permiten subsistir en estas condiciones de estrés abióticos Rodríguez *et al.* (2012).

La respuesta encontrada para el contenido de pigmentos en la mayoría de los tratamientos estudiados, pueden ser causadas por el desarrollo de mecanismos bioquímicos que pueden activarse en las plantas por la presencia de los metales pesados que se trabajan. Tanaka y Tanaka, (2006); Beyersmann y Hartwig, (2008), al estudiar la influencia de metales pesados sobre mecanismos moleculares, obtuvieron incrementos en los niveles de oxígeno producto del estrés metálico, lo que propició la degradación del gen en la molécula de ADN que codifica para la biosíntesis de los sistemas enzimáticos necesarios para los procesos fotosintéticos, lo cual pudiera ser otro factor a considerar en este trabajo.

A continuación se presentan en la Figura 2, los resultados obtenidos para la actividad de la catalasa en las plantas de arroz evaluadas.

² VALDÉS, R.; CRUZ, O.; GUZMAN, A.; GURIDI, F.: “Metodología para el diagnóstico de Áreas Agrícolas con Riesgo de Contaminación por Metales Pesados. influencia en el Impacto Comunitario”, En: Evento CUJAE, ISBN 978-959-261-405-5, La Habana, Cuba, 2012.

³ TORRES, V.: Estrategia para la gestión de los estudios de posgrado en la Universidad Agraria de La Habana., (Tesis en opción al título Maestro en Ciencias Desarrollo Agrario y Rural), Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2013.

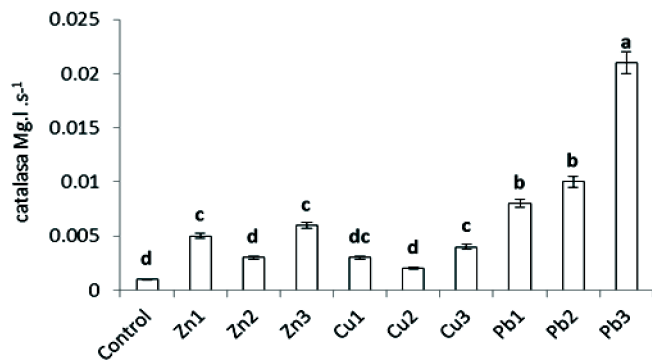


FIGURA 2. Actividad enzimática de la catalasa.

En la propia Figura 2 se evidencia el mecanismo de respuesta del estrés abiótico, donde la acción enzimática de todos los tratamientos de estrés metálicos es superior con respecto al control, principalmente las concentraciones de Zn1, Zn2, Zn3, Cu1, Cu2 y las concentraciones de Pb Tanaka y Tanaka, (2006); Hossain *et al.* (2009), plantean que los sistemas enzimáticos relacionados con el metabolismo de la clorofila pueden afectarse durante el estrés metálico, por lo que la respuesta encontrada para este indicador en las plantas estudiadas pudiera estar condicionada a la concentración utilizada, el tipo de metal empleado y las interacciones proteína-metal. Para conocer el posible efecto del estrés metálico sobre las hojas de la planta de arroz se determinó en estas últimas el contenido de metales (Tabla 2).

TABLA 2. Contenido de metales (mg.kg⁻¹) en las hojas de las plantas de arroz fase vegetativa

Tratamiento	Concentración (mg.kg ⁻¹)	Tratamiento	Concentración (mg.kg ⁻¹)	Tratamiento	Concentración (mg.kg ⁻¹)
Control	17,50 c	Control	3,00 b	Control	0 c
Cu1	28,45 b	Zn1	8,25 a	Pb1	0 c
Cu2	24,3c	Zn2	10,73 a	Pb2	2 b
Cu3	32,34 a	Zn3	9,61 a	Pb3	5 a
CV %	12,5		10,9		9,89

En primer lugar se destaca un efecto mucho más marcado, donde las concentraciones elevan su presencia en las hojas para el caso de los metales Cu y Zn con respecto al Pb. Los valores encontrados en este trabajo se justifican por un aumento del contenido biodisponible de los metales estudiados, como consecuencia de las concentraciones empleadas, pH del suelo y las interacciones de retención que puede ocurrir entre la arcilla y el metal pesado. Estas pautas pueden basarse principalmente en las propiedades del suelo, el contenido de materia orgánica, de óxidos hidróxidos y también de la actividad de los microorganismos en los suelos Weng *et al.* (2004).

Esta respuesta ratifica lo planteando por Méndez *et al.* (2009), quien sugiere que el Cu y Zn presentan mayor movilidad con respecto al Pb, unido al hecho de la menor importancia metabólica y de poca movilidad del plomo. No se lixivian en el suelo a causa de su relativa insolubilidad. Se presume que se convierten en formas más insolubles, también forman compuestos complejos con la materia orgánica y arcillas, por lo que su movilidad se limita.

Los resultados aquí encontrados ratifican una vez más la necesidad de hacer estudios de todos los elementos metálicos que pueden ser considerados como componentes que influyen en las propiedades químicas del suelo, con la periodicidad requerida, de tal manera de controlar lo que pueda llegar a los órganos del vegetal, tanto a sus órganos comestibles como a los restos de la cosecha, que normalmente se utilizan como alimentos de ganado y fuente nutricional para las restantes producciones agrícolas en una misma área de cultivo.

De forma general, se puede expresar que las plantas de arroz como hiperacumuladora que son, disparan su

mecanismo de aclimatación de tal forma que al subsistir en condiciones de estrés metálico no manifiestan efecto fitotóxico significativo en la etapa vegetativa del cultivo. De esta manera existe un riesgo agroambiental significativo en la comunidad donde aparezca este tipo de comportamiento, constituyendo una amenaza potencial para la seguridad alimentaria, si no se toman medidas de control de determinados efectos contaminantes, tanto por medio del suelo (efecto residual) como para el agua empleada en riego, acorde con lo planteado por Lugo-Morín y Rey (2009).

La Tabla 3, muestra el contenido de metales en los diferentes órganos (hojas, tallo y tubérculos) del cultivar de papa en los diferentes cuadrantes estudiados donde se puede apreciar las diferencias entre los diferentes órganos estudiados en los principales cuadrantes por cada metal.

Como se puede observar en los estudios realizados de los órganos de las plantas evaluados, los valores de metales pesados se encuentran en una concentración excesiva ya que excede el rango de MP en los tubérculos de la papa (0,29-1.0 para Ni, 3-6,6 para Cu, 0,225 para Cd, 0,5- 3 para Pb), según los reportados por Kabata-Pendias, (2000); lo cual puede ser causado por el contenido de metales pesados que poseen tanto el suelo, las aguas del manto freático y la semilla empleada, así como los vertimientos de aguas residuales de comunidades aledañas o industrias cercanas Lugo-Morín (2007).

La capacidad de las plantas para bioacumular metales varían según la naturaleza de los contaminantes. Estas diferencias en la absorción de metales, pueden ser atribuidas precisamente a la capacidad de retención del metal en cuestión por el suelo, la interacción planta-raíz-metal y al metabolismo vegetal propio Vig *et al.* (2003).

TABLA 3. Concentración de MP (mg·kg⁻¹) en diferentes órganos del cultivo de la papa al finalizar la cosecha (fincas Bahuma y Caraballo)

Finca	cuadrante	Órgano	Ni	Pb	Cd	Cu
Bahuma	3	Hojas	53,57 b	100 d	27,3 bc	205 b
		Tallos	53,57 c	211,25 c	23,94 b	265 b
		Tubérculos	15,30 e	273,75 c	21,42 d	210 b
	4	Hojas	68,87 b	256,25 b	35,49 b	130 c
		Tallos	53,57 c	305 b	28,77 b	75 d
		Tubérculos	58,67 d	320 b	23,21 d	60 d
Caraballo	1	Hojas	302,29 a	370 a	36,96 b	190 c
		Tallos	86,73 b	466,25 b	35,28 ab	135 c
		Tubérculos	186,22 b	456,25 a	30,87 c	80 d
	2	Hojas	321,42 a	40 e	41,58 a	40 d
		Tallos	390,30 a	70 d	47,25 a	170 c
		Tubérculos	229,59 a	157,5 d	41,58 a	250 b
	3	Hojas	53,57 b	148,75 c	20,68 c	180 c
		Tallos	73,97 b	563,75 a	42,84 a	375 a
		Tubérculos	82,90 c	71,25 e	42,42 a	335 a
	4	Hojas	68,87 b	160 c	41,37 a	310 a
		Tallos	43,36 b	72,50 d	40,11 a	260 a
		Tubérculos	16,58 e	102,50 d	37,27 b	180 c

Al final de la campaña se hizo una evaluación del contenido de metales pesados en el suelo del área experimental detectándose las siguientes concentraciones (Tabla 4).

TABLA 4. Comparación de los resultados obtenidos en el suelo al finalizar la cosecha de la papa

	Cuadrante	Ni	Pb	Cd	Cu
Bahuma	3	6,82 c	5,46 bc	18,29 b	0,67 a
	4	8,28 bc	8,68 a	16,62 c	0,60 a
Caraballo	1	10,16 b	6,60 b	20,37 a	0,56 ab
	2	12,90 a	7,29 ab	18,85 b	0,63 a
	3	12,47 a	7,34 ab	19,01 a	0,68 a
	4	8,88 bc	5,97 bc	17,81 bc	0,58 ab
Suelo Baja actividad antrópica (Pérez <i>et al.</i> , 2012)	-----	0,04 d	4,73 d	0,71d	0,14 c

Es de importancia considerar los valores reportados por Pérez *et al.*, (2012) en un suelo Ferralítico de baja actividad antrópica, donde los valores seudototales mencionados quedan por debajo de los encontrados en el suelo estudiado. Lo cual demuestra que la actividad humana, unido a los procedimientos y técnicas de manejo, fertilización y control fitosanitario aumentan considerablemente el nivel de metales pesados en el suelo con el riesgo potencial de incorporación a la cadena trófica y su biomagnificación.

Así también comparando con algunos resultados encontrados en Australia en algunos metales como: Pb 16,58 mg·kg⁻¹ Cu 13,95 mg·kg⁻¹ Ni 12,54 mg·kg⁻¹ y Cd 5, 2 mg·kg⁻¹ definidos como el valor promedio de concentración frecuente de metales pesados, se anotaron algunos elementos están por encima de los valores permisibles como Cd y Ni Sultan (2007).

Evidentemente el nivel de residualidad que queda en el suelo después de haber desarrollado todo el proceso tecnológico resulta ser indicativo del uso desmedido de agrotóxicos

empleados en esta campaña, los que consistieron en 12 aplicaciones fitosanitarias al cultivo así como las correspondientes a la fertilización mineral, a partir de lo expresado por⁴.

Para conocer la percepción del riesgo de una producción tan agresiva por el alto número de aplicaciones de agroquímicos al cultivo, se realizaron dos talleres con la participación de los actores sociales involucrados en el proceso productivo; es decir, directivos de las empresas de producción agrícolas involucrados, gobernantes de la comunidad, productores, técnicos y profesionales de las empresas y pobladores, para un total de 34 participantes. Mediante el método acción- participativa se obtuvo el siguiente diagnóstico participativo.

A partir de los resultados del diagnóstico participativo (Tabla 5) surge un tipo de estrategia ofensiva, en la cual el objetivo principal es establecer medidas de capacitación con todos los actores sociales, producto del desconocimiento que se posee de la contaminación agroambiental, lo cual eleva el nivel de vulnerabilidad agroambiental con el consiguiente im-

⁴LÓPEZ, O.: Efectos del uso no controlado de agroquímicos en la tecnología de producción de papa (*Solanum tuberosum* L.), Riesgo a la salud humana, 32pp., Tesis (presentada en opción al título de Ingeniero Agrónomo), Universidad Agraria de La Habana, Cuba, 2013.

pacto negativo en la comunidad. Todos los metales pesados abordados tienen una fuerte incidencia en la salud humana llegando a producir efectos letales, según lo reportado por (Vargas, 2005).

TABLA 5. Diagnóstico participativo con los actores involucrados

Fortalezas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trabajo del grupo Fitoplant. 2. Existencia resultados científicos sobre contaminación. 3. Estudiantes de agronomía que realizan tesis relacionadas con el tema. 4. Creación del frente agrícola
Debilidades.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de conocimiento sobre el tema. 2. Pobre capacitación sobre contaminación ambiental por metales pesados en los trabajadores. 3. Lejanía del área en estudio del centro docente
Oportunidades	<ol style="list-style-type: none"> 1. Disposición para la capacitación. 2. Receptividad a cambios por parte de los trabajadores de la unidad productiva. 3. Existencia de la red Fitorem 4. Vinculación con la Facultad de Ciencias Médicas, cercana al área de estudio.
Amenazas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Carta tecnológica variable. 2. Desconocimiento de las impurezas de los agroquímicos. 3. Inadecuada manipulación de residuos de cosechas. 4. Animales pastando en las áreas contaminadas. 5. Vertimiento de residuales contaminados. 6. Poca receptividad por parte de los directivos de la empresa.

Al procesar la matriz DAFO se llega a la conclusión que la estrategia basada en la Fortaleza-Oportunidad debe ser del tipo ofensiva; considerando esencialmente los aspectos antrópicos que influyen en los valores muy elevados de los metales pesados, encontrados tanto en la parte aérea como en tubérculos (fruto agrícola comestible), para minimizar el impacto negativo que ocasionaría su introducción en la cadena trófica se proponen algunas recomendaciones, estas pueden resumirse en:

- A) Uso racional y controlado de agrotóxicos en el proceso tecnológico productivo (fertilizantes y pesticidas).
- B) Determinación del contenido de los metales pesados, a partir de la evaluación de los tenores en el suelo.
- C) Evaluar todas las posibles fuentes de contaminación existentes en el área, en particular la de abasto para el agua de riego.
- D) Revisar el sistema tecnológico productivo, considerando la necesidad de eliminar los residuos vegetales pues constituye una fuente potencial para elevar el contenido de elementos biodisponibles en el suelo.
- E) No utilizar las áreas para el pastoreo del ganado después de la cosecha, minimizando de esta forma el riesgo de contaminación en la cadena trófica.

De esta manera se haría una fuerte incidencia en la búsqueda de medidas efectivas en la planeación y gestión ambiental, llegando a definir las acciones correctivas que permitan minimizar y eliminar el riesgo agroambiental en este agroecosistema estudiado.

Cabe destacar que (Lugo-Morín, 2007), plantea que los niveles de vulnerabilidad, que aquí se alcanzan, incrementan

el riesgo de contaminación, que aumenta con el uso excesivo de fertilizantes, pesticidas y la falta de las prácticas de conservación, por tener en su composición estos fertilizantes fundamentalmente fósforo, nitrógeno y metales pesados, lo cual es un riesgo a la seguridad alimentaria.

CONCLUSIONES

- Los niveles de contaminación inducidos en la fase vegetativa del arroz, no provocan síntomas visibles de fitotoxicidad, debido a mecanismos de aclimatación que contrarrestaron dicho efecto, dependiendo de las características del metal y su concentración.
- El proceso tecnológico aplicado en las áreas de producción de papa, ha contribuido con la elevación de los niveles de metales pesados en suelos y los diferentes órganos de la planta, incluyendo el fruto agrícola donde se encuentran por encima de los valores permisibles.
- La no percepción visual de fitotoxicidad en los cultivos estudiados, con altos contenidos de metales pesados en sus diferentes órganos y en el suelo pueden provocar un incremento en la vulnerabilidad agroambiental donde pudiera tener un impacto negativo en esta comunidad de Güines, que puede llegar a convertirse en un desastre para los pobladores que consumen los productos de alto contenido de metales pesados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHIBA, W.; DU, L.; VERLOO, M.: "Effects of 5-years application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals", *Agriculture Ecosystems and Environment*, ISSN: 0167-8809, 130: 165-163, 2009.
- BEYERSMANN, D.; HARTWIG, A.: "Carcinogenic metal compounds: recent insight into molecular and cellular mechanisms", *Archives of*

Toxicology, ISSN: 0340-5761, 82: 493-512, 2008.

EMBRAPA: Manual Análisis Químicas de Solos, plantas e Fertilizantes/ Embrapa solos, Embrapa informática agropecuaria, organizador, ed. DF, 370, Río de Janeiro, Brasil, 1999

HERNÁNDEZ, A.J.; PÉREZ, J.M.; BOSH, D.; RIVERO, L.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGRINFOR, ISBN: 95924602219789592460225, pp. 64, La Habana, 1999.

JIAO, W.; CHEN, W.; CHANG, A.: "Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications", *Environmental Pollution*, ISSN: 0269-7491, 168:44-53, 2012.

KABATA-PENDIAS, A.: "Trace elements in soil and plants", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, ISSN-1870-0462, 3: 413, 2000.

KIRK, T.: "Studies on the dependence of chlorophyll synthesis on protein synthesis in *Euglena gracilis*, together with a nanogram for determination of chlorophyll concentration", *Advances In Carbohydrate Chemistry And Biochemistry*, ISSN: 0065-2318, Vol. 78 (2): 200-207, 1967.

KOMOSHITA, A.; BABU, R.; BOOPATHI, N.; FUKAI, S.: "Phenotypic and genotypic analysis of drought-resistance traits for development of rice cultivars adapted to rainfed environments", *Field Crops Research*, ISSN: 0378-4290, 109: 1-23, 2008.

LI, H.: "Principles and techniques of plant physiological biochemical experimental", *Higher Education Research and Development*, ISSN: 0729-4360, 42: 164-169, 2000.

LICHTENTHALER, H.: "Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Biomembranes", *Methods in Enzymology*, ISSN-0076-6879, 148: 350-383, 1987.

LUGO-MORÍN, D.; REY, J.: "Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación agroambiental a través del uso del sistema MicroLEIS en los suelos de los llanos centrales de Venezuela", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, ISSN: 0188-4999, Vol. 25 (1): 43-60, 2009.

LUGO-MORÍN, D.: "Evaluación del riesgo agroambiental de los suelos de las comunidades indígenas del estado Anzoátegui, Venezuela", *Ecosistemas*, ISSN: 1697-2473, Vol. 16 (1): 69-79, 2007.

MÉNDEZ, P.; RAMÍREZ, G.; CÉSAR, A.; GUTIÉRREZ, R.; ALMA, D.; GARCIA, P.: "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua", *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, ISSN: 1870-0462, Vol. 10 (1): 29-44, 2009.

PÉREZ, Y.; MOURA, N.; BALBÍN, I.; VALDÉS, R.; OSVALDO, M.: "Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, ISSN: 1010-2760, Vol. 21 (1): 43-46, 2012.

RODRÍGUEZ, E.; SANTOS, C.; AZEBEDO, R.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.; DÍAS, M.: "Chromium (VI) induces toxicity at different photosynthetic levels in pea", *Plant Physiology and Biochemistry*, ISSN: 0981-9428, 53: 94-100, 2012.

SULTAN, K.: "Distribution of Metals and Arsenic in Soils of Central Victoria (Creswick-Ballarat) Australia", *Environmental Toxicology and Chemistry*, ISSN: 0730-7268, 52: 339-346, 2007.

TANAKA, A.; TANAKA, R.: "Chlorophyll metabolism", *Plant Biology*, ISSN: 1435-8603, 9: 248-255, 2006.

VARGAS, F.: "La contaminación ambiental como factor determinante de la salud", *Revista Española de Salud Pública*, ISSN: 1135-572779: 117-127, 2005.

VELIKOV, V.; TSONEV, T.; LORETO, F.; CENTRITTO: "Changes in photosynthesis, mesophyll conductance to CO₂, and isoprenoid emissions in *Populus nigra* plants exposed to excess nickel", *Environmental Pollution*, ISSN: 0269-7491, 159: 1058-1066, 2011.

VIG, K.; MEGHARAJ, M.; SETHUNATHAN, N.; NAIDU, R.: "Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil", *Environmental Science and Pollution Research*, ISSN: 0944-1344, 8: 121-135, 2003.

WENG, L.; WOLTHOORN, A.; LEXMOND, T.; TEMMINGHOFF, E.; VAN RIEMSDIJK, W.: "Understanding the effects of soil characteristics on phytotoxicity and bioavailability of nickel using speciation models", *Environmental Science and Technology*, ISSN: 0013-936X, 38: 156-162, 2004.

Recibido: 16 de julio de 2013.

Aprobado: 22 de septiembre de 2014.

Publicado: 28 de diciembre de 2014.

Welbry Delince, Maestrante, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Agronomía, Dpto. de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: dwelbry@unah.edu.cu