



**Universidad Central Marta Abreu de Las Villas
Facultad de Química - Farmacia**

**Contribución a la Gestión ambiental mediante la
determinación de las concentraciones de metales pesados
en el contexto de las producciones agrícolas urbanas en la
ciudad de Santa Clara.**

**Tesis presentada en Opción del Título Académico de
Master en Gestión Ambiental.**

Autora: Rosabel Rodríguez Rojas

Tutor: Dr. C. Reinaldo Demesio Alemán Pérez

Consultante: Dr. C. Jorge Antonio Pérez Donato

2009

Resumen:

El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas y consistió en la determinación de las concentraciones de metales pesados (Plomo, cinc, cadmio, hierro, cobalto, níquel, manganeso y cobre) en suelo, agua y tejidos de lechuga (*Lactuca sativa L*) en el marco de los sistemas de producción agrícola urbana de la Ciudad de Santa Clara. Fueron estudiados cuatro organopónicos, tres ubicados en áreas urbanas con fuerte contaminación ambiental y uno en zona periurbana con mayor calidad ambiental. La concentración de los metales pesados se determinó mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam. Las concentraciones de metales pesados para el tejido vegetal de la lechuga fueron comparadas según lo establecido por la NC NC-493: 2006. Se demuestra que en los organopónicos del área urbana las concentraciones de metales pesados fueron mayores en todos los casos, con posible riesgo en algunos casos para la salud humana, en base a ello se hacen recomendaciones y una propuesta de gestión ambiental que permita el desarrollo de estas producciones sin mayores riesgos.

Palabras Claves: contaminación ambiental, metales pesados, producciones urbanas.

Abstract:

The research was developed at the Center for Agricultural Research (CIAP), Central University "Marta Abreu" of Las Villas, and consisted in determining the concentrations of heavy metals (lead, zinc, cadmium, iron, cobalt, nickel, manganese and copper) in soil, water and tissues of lettuce (*Lactuca sativa* L) under the agricultural production systems of the City of Santa Clara. Four organoponic were studied, three are located in urban areas with heavy pollution and the other in an periurban area in greater environmental quality. The concentration of heavy metals was determined by an atomic absorption spectrophotometer Pye solely SP-9. Heavy metal concentrations in plant tissue of the lettuce were compared as established by the NC-493 NC: 2006. We show that the organic urban concentrations of heavy metals were higher in all cases, in some cases, possible risk to human health, based on this proposal and make recommendations for environmental management, allowing the development of these products without risk.

Key words: pollution, heavy metals, urban productions

Introducción:

La agricultura en las ciudades o zonas periféricas importantes está vinculada al surgimiento y desarrollo de las mismas. La migración de campesinos y/o personas nacidas en zonas rurales ha sido en todas las formaciones económicas y sociales una constante histórica; con la llegada de ellos también se asientan las bases para continuar una tradición cultural agraria adaptada a las nuevas dimensiones espaciales.

Así trasciende una nueva forma de producir alimentos como vía no necesariamente vinculada a las principales alternativas de subsistencias económicas que motivaron el asentamiento en la ciudad, pero que sienta fundamentos para alcanzar otras variantes de satisfacción de necesidades y que constituye hoy una fuente importante de supervivencia de importantes zonas como lo es América Latina (Madaleno, 2001).

La agricultura urbana existe desde siempre en países en desarrollo, y en América Latina es en la actualidad una estrategia de supervivencia que favorece la esperanza de un futuro mejor (Madaleno, 2001).

La agricultura urbana es considerada como un movimiento por el cual se producen alimentos en ciudades, pueblos y asentamientos poblacionales utilizando al máximo los recursos locales, bajo principios de agricultura sostenible. Una experiencia trascendente en lo que respecta a la Agricultura Urbana es la que se ha venido desarrollando en Cuba desde la década del 90.

Luego de la gran crisis generada por la caída del Campo Socialista en Europa, en nuestro país ocurre una reducción en la producción de alimentos teniendo una notable expansión la Agricultura Urbana, la cual contribuyó al autoabastecimiento alimentario de la población urbana y a mejorar la calidad y el nivel de vida de la población (Companioni et al., 2001).

La contaminación ambiental constituye hoy uno de los principales problemas de las ciudades en el mundo, tanto en los países desarrollados como en los de mayor atraso tecnológico. En los primeros, por un alto volumen y diversificación de la producción industrial y un flujo intenso de vehículos automotores; mientras que en los segundos es por causa del desarrollo no planificado de las industrias, el uso de tecnologías obsoletas en la producción, los servicios y el transporte, la mala calidad del saneamiento básico y el crecimiento urbanístico no planificado. (Díaz y Díaz, 1999).

Según Ormrod (1982) las plantas muestran una especial sensibilidad a la mayor parte de los contaminantes del ambiente y sufren daños significativos a concentraciones mucho más bajas que las necesarias para causar efectos perjudiciales sobre la salud humana y animal. Los efectos de los contaminantes sobre la vegetación y la agricultura dependen de una serie de factores, entre ellos el tiempo de exposición y características morfológicas de las plantas, tales como: tamaño de la hoja, índice del área foliar y cobertura (Castillo, 2007).

Se hace difícil establecer valores límites de la contaminación ambiental a partir de los cuales los efectos negativos comiencen a manifestarse, ya que estos dependen de la constitución de la planta y de la especie de que se trate, es decir, hay una especificidad de respuestas.

Tal como sucede con la agricultura rural, la agricultura urbana y peri-urbana (AUP) implica riesgos para la salud de la población si no es manejada apropiadamente. Existen riesgos de enfermedades asociadas con la reutilización de desechos urbanos y aguas residuales, otras de transmisión vectorial, las asociadas con la utilización de agroquímicos y, por último, las vinculadas a la contaminación de suelo y agua con metales pesados (Lock y De Zeeuw, 2000).

Los metales pesados pueden ser absorbidos por las plantas dependiendo de su disponibilidad en el suelo y de los mecanismos de selectividad propios de cada especie, variedad o genotipo. Algunos metales pesados constituyen elementos esenciales en el metabolismo de las plantas, como por ejemplo, el manganeso (Mn), níquel (Ni), cobre (Cu), cinc (Zn) o molibdeno (Mo); mientras que otros, como el arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) son fitotóxicos. Los metales pesados se pueden acumular en distintos órganos según su movilidad en la planta, este proceso es altamente específico para la relación metal-planta. El grupo de metales pesados de mayor riesgo lo constituyen aquellos cuya concentración en la planta no es tóxica para ellas, pero si para el hombre o para los animales, como por ejemplo, el cadmio (Cd), cobalto (Co) y selenio (Se). Por tal motivo, es necesario regular en los cultivos el contenido de metales potencialmente tóxicos para la salud humana y/o animal (Loayza, 2008).

Con el paso del tiempo la disponibilidad de agua de calidad para usar en la Agricultura Urbana estará más comprometida, debido al incremento de la población y de su uso

industrial, pero también por la pronosticada disminución de las precipitaciones en Cuba, a causa de los cambios climáticos globales (Planos y Barrios, 1998)

En la ciudad de Santa Clara una de las estrategias desarrolladas en la producción de alimentos es la ubicación de entidades agrícolas dentro de la trama urbana, actualmente cuenta con un número de 45 organopónicos, situados indistintamente cerca de vías principales de transporte automotor, vías férreas, fuentes fijas de emisión de contaminantes, entre otros, que afectan fundamentalmente a los cultivos de hojas, los cuales tienen una alta probabilidad de absorción de metales pesados y otros contaminantes dañinos a la salud humana.

A partir de esta problemática, se plantea como **Hipótesis**: Si los organopónicos y huertos agrícolas urbanos de Santa Clara se encuentran ubicados en áreas aledañas a fuentes contaminantes, del agua o de los suelos, puede que sus productos presenten concentraciones de metales pesados que signifiquen riesgo para la salud de la población.

Objetivo General:

Realizar una propuesta de recomendaciones ambientales relacionadas con la producción agrícola urbana a partir de la determinación de las concentraciones de metales pesados en agua de riego, suelo y tejidos vegetales.

Objetivos Específicos:

1. Identificar la ubicación de los organopónicos de la ciudad de Santa Clara y su relación con la calidad ambiental del entorno urbano.
2. Determinar las concentraciones de metales pesados en el agua de riego, suelo y tejidos del cultivo de la lechuga en las zonas estudiadas.
3. Determinar el Límite Máximo Residual de metales pesados en tejidos de lechuga.
4. Realizar una propuesta ambiental para el desarrollo de la producción agrícola urbana de hortalizas de hojas de la ciudad de Santa Clara.

2. Revisión Bibliográfica

2.1. Breve Reseña Histórica

La Agricultura Urbana surge en 1994, y constituye uno de los Programas priorizados por el MINAG para la producción de alimentos, se ejecuta en el ámbito local, está basado en el desarrollo de una agricultura familiar, contempla 28 subprogramas y con un enfoque agro ecológico. Sus principios básicos son: Producción de alimentos dentro de los perímetros urbanos y periurbanos, aplicando métodos intensivos y teniendo en cuenta la interrelación hombre-cultivo-animal-medio ambiente, facilidades de la infraestructura urbanística, que propicia la estabilidad en la fuerza de trabajo y producción diversificada de cultivos y animales durante todo el año, basada en prácticas sostenibles que permiten el reciclaje de los desechos.

Las principales modalidades de este Programa son:

Organopónicos, Huertos, Patios Parcelas, Fincas suburbanas, Áreas de auto-abastecimiento de empresas y organismos, Cultivos domésticos (agricultura del hogar), Cultivos sin suelos (artificiales) y Cultivos protegidos.

2.2 La Agricultura Urbana en el Contexto Internacional

Según estudios realizados por el Panel de Evaluación Internacional de los Conocimientos, la Ciencia y la Tecnología en el desarrollo Agrícola, persiste la visión mercantilista con que muchos gobiernos vienen confrontando la crisis alimentaria que se cierne sobre el planeta. Plantean que la dramática escasez actual de alimentos llevará a disturbios y guerras, además de la importancia de la agricultura en pequeña escala, como única solución viable a la crisis. Señalan que es la primera vez que un reporte proveniente de organismos asociados con la ONU cuestiona la famosa revolución verde - basada en el uso intensivo de pesticidas y fertilizantes - y a los organismos genéticamente modificados como soluciones al hambre mundial. (Watson, 2008)

En África, países como la República Democrática del Congo, Senegal, Gabón, Mozambique, Botswana, Sudáfrica, Namibia, Egipto y Malí participan ya en iniciativas de

agricultura urbana con apoyo de la FAO. En la República Democrática del Congo, la FAO trabaja con las autoridades municipales para ayudar a convertir 800 hectáreas de superficie urbana en huertos familiares en ciudades como Kinshasa, Lubumbashi y Kisangani, con el fin de producir verduras frescas –e ingresos extras- a cerca de 16 000 familias, unas 80 000 personas. (Corona, 2003)

La importancia de la Agricultura Urbana y Periurbana (AUP), se muestra en los primeros lugares de acción. El Programa de Producción Vegetal es un componente básico del trabajo de la Oficina Regional de la FAO en el área de la seguridad alimentaria. Las actividades están dirigidas al logro de los objetivos estratégicos de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación en relación a la mejora de las tecnologías de producción sostenible de alimentos a nivel rural y suburbano y a las prioridades del Plan de Acción Mundial para la Conservación y Utilización Sostenible de los recursos Genéticos que fuera aprobado en Leipzig en 1996. Estas acciones promueven también investigaciones innovadoras y apropiadas sobre cultivos alimenticios incluyendo los últimos adelantos de la biotecnología vegetal (FAO. 2006).

Según Hodder (2007), el concepto de agricultura urbana puede parecer una contradicción, pero es lo que la FAO está apoyando como elemento para el suministro de alimentos en respuesta al tamaño creciente de las ciudades en los países en desarrollo y la rápida expansión de sus barrios pobres y superpoblados. La población urbana a nivel mundial – más de 3 000 millones de personas- excederá en número a la que vive en áreas rurales. Un tercio de los residentes urbanos -1000 millones de personas- viven en suburbios degradados, y en muchas ciudades de África subsahariana esto sucede a las tres cuartas partes de sus habitantes.

Müller A. (2007) plantea que para el 2030 y según las proyecciones de la ONU, cerca de dos tercios de la población mundial vivirá en ciudades, mientras que la población mundial alcanzará los 9 000 millones de habitantes en 2050.

2.3 La Agricultura Urbana en Cuba.

El Grupo Nacional de Agricultura Urbana del Ministerio de la Agricultura (2004), definió a la Agricultura Urbana como: “La producción de alimentos dentro del perímetro urbano y peri-urbano aplicando prácticas intensivas, teniendo en cuenta la interrelación hombre-cultivos-animales-medio ambiente y las posibilidades de la infraestructura urbanista que propicia la estabilidad de la fuerza de trabajo y la producción diversificada cultivos y animales durante todo el año, basada en manejos sostenibles que permitan el reciclaje de los desechos ”.

Las producciones en organopónicos son cada vez más notables en todos los asentamientos poblacionales de Cuba hay en producción organopónicos, huertos intensivos y parcelas familiares. La agricultura urbana, desarrollada ampliamente en Cuba, está considerada por los expertos como una herramienta concreta para favorecer la seguridad alimentaria y la nutrición. Cuba es un ejemplo de lo que puede lograrse en la Agricultura Urbana en todos los asentamientos poblacionales del país, tanto en el llano como en las serranías, hay en producción, organopónicos, huertos intensivos y parcelas familiares. De manera paulatina, la población ha incorporado los vegetales a la dieta diaria, la demanda aumenta cada día más y el agro urbano ha pasado a ser de alternativa a sustento básico.

La Agricultura Urbana y Peri-Urbana basada en tecnologías sostenibles seguirá su avance en Cuba y el mundo ante la realidad del incremento de la población urbana a nivel mundial y el actual proceso de megaurbanización y quedando mucho por hacer en esta importante modalidad productiva agropecuaria (GNAU, 2003).

La transformación agraria que tiene lugar en Cuba como consecuencia de las condiciones creadas después del derrumbe del bloque socialista y como continuidad de las acciones bajo la voluntad del desarrollo en el sector, no requiere de la promulgación de una tercera ley de Reforma Agraria, sino que requiere de una transformación en el nuevo contexto internacional por un camino sostenible (Socorro y March, 2002).

2.4 Agricultura Urbana y Seguridad Alimentaria

El término “Seguridad Alimentaria”, se conceptualiza como base de supervivencia y premisa de desarrollo. Se define básicamente como “el acceso de todas las personas en todo momento a una cantidad suficiente de alimentos para una vida activa y sana”

Las medidas adoptadas ante la crisis han favorecido la producción de alimentos. Un caso particular es el fomento de la Agricultura Urbana que hoy cuenta con niveles de producción orgánica significativa en las propias ciudades al pie del consumidor.

La atención al movimiento de Agricultura Urbana en las ciudades cubanas es una función de los gobiernos locales que se lleva a la práctica a través del trabajo de los Consejos Populares, lo cual permite el monitoreo permanente (registros estadísticos al nivel de la base productiva), lo que facilita la toma de decisiones, la planificación y en definitiva la gestión en torno a la producción.

El interés de los organismos involucrados en la gestión de la Agricultura Urbana es hacer cada vez una gestión más eficiente de los recursos disponibles para la producción y los servicios a los productores. Este proceso de gestión exige el uso de herramientas apropiadas, entre las cuales pueden señalarse el rápido y multivariado acceso a la información sobre variables de utilidad para la toma de decisiones integradoras en cuanto a la gestión económica productiva, tecnológica, socio cultural, de la información y la comunicación, de los recursos naturales y el medio ambiente (Socorro, 2002).

Cada país tiene una legislación propia en términos de los Límites Máximos de Residuos (LMR) aunque en general se acepta lo establecido por el Codex Alimentarius u otras organizaciones internacionales. Un LMR o tolerancia es la concentración máxima del residuo de un agroquímico resultante de su aplicación según una práctica agrícola correcta.

El uso de agroquímicos debe enmarcarse dentro de las Buenas Prácticas Agrícolas que

tiende a garantizar la máxima seguridad y disminuir el riesgo para la salud del consumidor. Se debe usar los productos específicos para controlar la plaga o enfermedad siguiendo las indicaciones del fabricante, particularmente en lo referido a cultivos en los que puede ser usado y tiempos de espera entre aplicación y cosecha.

Otras contaminaciones que se presentan en las frutas y hortalizas son por ejemplo, la acumulación de nitratos en hortalizas de hoja, de oxalatos en determinadas especies y metales pesados (mercurio, cadmio, plomo) provenientes de la utilización de residuos domiciliarios como fertilizantes o enmiendas orgánicas. También es posible la presencia de compuestos tóxicos naturalmente producidos por el vegetal o por los hongos (micotoxinas) que colonizan su superficie.

2.5 Los metales pesados

Según López (2001) se denominan metales pesados (MP) a los elementos que químicamente tiene una densidad igual o superior a 5 g cm^3 cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Los MP son, principalmente: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Zinc (Zn), Hierro (Fe), Cobalto (Co), Manganeso (Mn), Arsénico (As) y Cromo (Cr)

Cada metal por su naturaleza tiende a comportarse de manera diferente, por lo que en suelos con características diversas la acumulación de metales varía.

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000), sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen de (1) el movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta, (2) el paso de los

metales por las membranas de las células corticales de la raíz, (3) el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos, y (4) la posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema. Después de la absorción por los vegetales los metales están disponibles para los herbívoros y humanos directamente o a través de la cadena alimentaria (John y Leventhal, 1995) citado por Loayza (2008).

Otro mecanismo de ingreso de sustancias potencialmente tóxicas a las plantas, como los metales pesados, es mediante la absorción foliar. La disponibilidad a través de las hojas de algunos elementos traza provenientes de fuentes aéreas puede tener un impacto significativo en la contaminación de las plantas y también es de particular importancia en la aplicación de fertilizantes foliares (Kabata – Pendias, 1992). La absorción foliar es mediada por una fase de penetración cuticular y un mecanismo de carácter metabólico que considera la acumulación de los elementos contra un gradiente de concentración.

Las especies vegetales, incluidos algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata – Pendias, 2000).

2.5.1 Contaminación producida por el tráfico

La contaminación debida al exceso de circulación rodada y provocada sobre todo por la quema de combustibles fósiles, en especial gasolina y gasoil.

Los contaminantes más usuales que emite el tráfico son el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles y las macropartículas. Por lo que se refiere a estas emisiones, los transportes en los países desarrollados representan entre

el 30 y el 90% del total. También hay compuestos de plomo y una cantidad menor de dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno. El amianto se libera a la atmósfera al frenar. El tráfico es también una fuente importante de dióxido de carbono.

La mayor preocupación por la contaminación que produce el tráfico rodado se refiere a las zonas urbanas, en donde un gran volumen de vehículos y elevadas cifras de peatones comparten las mismas calles.

Los catalizadores limpian parte de las emisiones, pero no así el plomo, el dióxido de carbono ni las macropartículas. Hay plomo porque se añade a la gasolina para mejorar el rendimiento del motor. Es posible reducir su empleo aplicando diferenciales de precios. El dióxido de carbono es inevitable en los combustibles fósiles; su reducción depende de la utilización de otros combustibles, de mejorar la eficacia del combustible o de reducir el volumen de tráfico.

En muchos países, reducir la contaminación que provoca el tráfico es una de las grandes prioridades y, en la mayoría de los casos, se reconoce que ello puede pasar por restringir en cierta medida el aumento del volumen total de tráfico, ya sea con medidas de urgencia durante algunos días, cuando la contaminación es demasiado alta, o mediante políticas más completas a largo plazo.

Aparentemente la absorción de plomo es más peligrosa por vía respiratoria que oral, debido al tamaño de partículas, ya que son menores de un micrón, siendo fácilmente incorporadas en los alvéolos. Si una persona inhala aire en una zona con problemas de tráfico que contenga de 5 a 10 microgramos de plomo por metro cúbico, estará expuesta a 100-300 $\mu\text{g}/\text{día}$ (Bravo, 1989).

La calidad del aire es uno de los motivos de políticas como la implantación de zonas peatonales en el centro de las ciudades, la limitación del tráfico y la creación de autopistas de peaje.

2.5.2 Ecotoxicología de metales pesados

La ecotoxicología ha ampliado su campo de estudio para involucrar no sólo la determinación de la relación dosis-respuesta de sustancias peligrosas a nivel de individuo, sino también los efectos a nivel de poblaciones y comunidades. La ecotoxicología es una ciencia que se ha desarrollado vertiginosamente en los últimos 30 años. Ese rápido desarrollo de los acontecimientos medioambientales hace indispensable que se conforme un cuerpo de instrumentos científico-técnicos que respondan a la problemática actual. La ecotoxicología se ha desarrollado a tal velocidad apoyada en dos ciencias bien establecidas y con sistemas muy afines a su interés científico como son la toxicología preclínica básica de mamíferos y la ecología. Chilcott (2008).

La toxicología de los alimentos o también conocida como toxicología bromatológica, es una especialidad de la toxicología ambiental, cuyo interés está creciendo rápidamente; en consecuencia, están aumentando los programas académicos que abarcan la enseñanza, el adiestramiento y la investigación de esta materia (Shibamoto y Bjeldanes, 1993). La toxicología de alimentos en forma concisa se refiere al conocimiento sistemático y científico de la presencia de sustancias potencialmente dañinas en los alimentos, y evitar hasta donde sea posible la ingesta de una cantidad que ponga en riesgo la salud del consumidor.

Según Glosser et al (1994) en principio se determina un valor para la tolerancia, esto es, el residuo máximo permitido para un producto químico cuando el producto agrícola deja el campo. En 1991 tan solo 176 límites de tolerancia se habían definidos por las agencias internacionales para los más de 1500 productos empleados en agricultura. Además menos del 60% de estos valores son aceptados universalmente. La Unión Europea en su directiva 76/895 y 90/642 establece los límites de tolerancia para frutas y hortalizas (OMS, 1990).

Otras fuentes considerables son los recipientes para cocinar, comer o almacenar vino, productos enlatados, tuberías para agua, pinturas, aparatos para destilar, soldaduras de latas, sales para vidriado, joyería, etc. Entre los niños se observa el hábito "pica" o sea ingerir materiales extraños como: arena, yeso de las paredes (con pintura), morder lápices, etc., lo que ha repercutido en intoxicaciones por plomo (Schaffner, 1981).

Se estima que se ingiere aproximadamente 0,35 mg de plomo (en los Estados Unidos de América), de los cuales 0,31 mg provienen de alimentos, principalmente de vegetales que lo han adquirido por deposición. Un factor que influye la concentración de plomo en un vegetal, es su localización respecto a zonas industriales o carreteras (Lucas, 1974).

Estudios relacionados con el contenido de plomo en alimentos dan algunas cifras interesantes, como el de chiles en vinagre con 1,74 mg/kg. (Parada, et al 1975), para jugos de 201 frutas de 0,65 mg/kg.; para coliflor, jitomate, col, fresa y naranja cultivadas en las cercanías de carreteras altamente transitadas, mostraron un contenido inferior a 1 mg/kg. (Schuck y Locke, 1970). Sin embargo, Klope y Leh (1968) encontraron una concentración de 25 mg/kg. En remolacha. Ferret et al (1954), encontraron 0,67 a 0,76 mg/kg en cocoa, mientras que la Organización Mundial de la Salud (World Health Organization, 1977) reporta diferentes contenidos de plomo para: condimentos 1,5 mg/kg.; pescado 0,2-2,5 mg/kg.; carne y huevo 0,0-0,37 mg/kg.; cereales 0,0-1,37 mg/kg; vegetales 0,0-1,3 mg/kg; vinos 0,3 mg/kg y leche evaporada 0,2 mg/kg. (Murthy y Rhea, 1972). Por otro lado la FAO (1973) ha recomendado que para el azúcar o glucosa sean tolerados 2 mg/kg.; para grasas y aceites 0,1 mg/kg y para algunos néctares o jugos 0,3 mg/kg.

Estudios realizados en México indican un contenido de plomo de 0,22 mg/kg para cebolla y de 0,24 para lechuga (Valle-Vega y López, 1982). Los niveles anteriores podrían considerarse seguros ya que estudios con animales demuestran que una ingesta menor a 3 mg Pb al día no causa una apreciable retención (Public Health Service, 1965).

Los mecanismos de fitotoxicidad de los diferentes iones metálicos pueden ser tan diversos como sus propiedades químicas, especialmente la valencia, el radio iónico y la capacidad para formar complejos orgánicos. Sin embargo, un exceso de estos iones metálicos o quelatos de metal solubles puede inducir en las plantas una serie de alteraciones bioquímicas y fisiológicas las cuales presentan algunas características comunes (Ferreira y Pessoa da Cruz, 1991; Martínez, 2004). Entre ellas daños celulares, alteraciones en las actividades enzimáticas, inhibición del crecimiento vegetal, inducción de estrés oxidativo. Esos eventos primarios conducen a fenómenos tales como anomalías en la distribución del balance hormonal, deficiencia de nutrientes esenciales, inhibición de la fotosíntesis,

cambios en la traslocación de fotoasimilatos, alteraciones en las relaciones hídricas, etc. Todo esto conduce a una reducción del crecimiento inducido por los metales.

Dentro de las acciones fisiológicas a considerar hay una serie de puntos claves a tener en cuenta:

- Mecanismos de absorción, transporte y acumulación de los MP por las plantas.
- Mecanismos primarios de toxicidad a escala molecular, celular y subcelular
- Mecanismos de respuesta homeostática
- Mecanismos de resistencia frente la metal pesado.

Al nivel de la planta los síntomas más visibles de la fototoxicidad por MP incluyen:

Reducción del crecimiento, fundamentalmente de las raíces.

- Clorosis
- Necrosis de las hojas
- Síntomas de senescencia y abscisión

Un efecto importante es el que ejercen los MP sobre muchas enzimas, las que no siguen un patrón uniforme. Asimismo, mientras que para un grupo de ellas los MP inhiben su acción, en otros actúan induciendo la enzima, aunque su acción depende del tipo de ión y de la especie vegetal estudiada.

La enzima superóxido dismutasa-Mn es inducida en las plantas de chícharo (*Pisum sativum* L.) expuesta a altos niveles de Zn y Mg (Del Río y col., 1985). Leidi y col., (1987) también encontraron alta actividad de esta enzima en genotipos de soya (*Glycine Max* L.) crecidos en exceso de Mn.

Otras de las consecuencias directas de los niveles tóxicos de MP en plantas son los cambios estructurales y metabólicos, evidenciados por la alteración en la regulación del balance de distribución de los asimilatos entre los diferentes órganos de las plantas y el fuerte desequilibrio que se crea en el balance de distribución de nutrientes y sus interacciones.

Las altas concentraciones de Ni en plantas de maíz reducen la producción de materia seca, especialmente en el sistema radical, el cual acumula grandes cantidades del ión, mientras que se produce una acumulación foliar de fenoles solubles, almidón y azúcares

reductores y una disminución severa del contenido de clorofila. La acumulación de carbohidratos en los ápices pudiera explicar la inhibición producida en el crecimiento radical (Cuevas y Walter, 2004)

Los desequilibrios entre los distintos elementos minerales, como consecuencia de la acción de los MP, presentan también una gran diversidad de modelos, con correlaciones tanto sinérgicas como antagónicas, según los elementos.

En este sentido Schwarzerová et al., (2002) encontraron que la combinación de Al y Fe en exceso, en células de tabaco (*Nicotiana tabacum* L) conduce a la pérdida de la integridad de la membrana plasmática lo que conduce directamente a la muerte celular y a la inhibición del crecimiento.

Las plantas no responden de igual manera ante la presencia de MP en los suelos, la respuesta de las mismas ante estos elementos está relacionada, además de los diferentes factores externos, con factores internos del vegetal dentro de los cuales se encuentran sus potencialidades genéticas, las cuales varían entre especies e incluso entre variedades de la misma especie. Existen especies que excluyen la absorción y acumulación de ciertos MP en sus tejidos; mientras que, existen otras que pueden incluirlos y acumularlos en niveles relativamente altos, dentro de estas últimas se encuentran las plantas hiperacumuladoras.

En este sentido, Cunningham y Ow (1996) informaron como algunas Brasicas (*Brasica juncea*, *B. rapa* y *Thlaspi caerulescens*) pueden acumular en sus tejidos Cd y Zn en concentraciones de 175 y 52 000 mg.Kg⁻¹, respectivamente.

El Cd puede ser absorbido por las plantas y acumulado en cantidades que pueden entrañar serios riesgos para la salud humana. Su similitud con el Zn, le permite reemplazarlo, ser absorbido por la planta en su lugar y desempeñar sus funciones. Por su alta toxicidad ocasiona serios trastornos en la actividad enzimática de la planta. Se le atribuye un marcado efecto en la reducción del crecimiento, la extensibilidad de la pared celular, el contenido de clorofila, la rata de fotosíntesis, la asimilación de CO₂, y la apertura de estomas. Todos los efectos negativos varían de una especie a otra.

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables; una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros; por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (Plumlee y Logsdon 1999). Algunos metales pesados forman parte de los organismos como el Cu, Zn, Fe; sin embargo, los metales no esenciales como el mercurio o el cadmio son excretados con mayor dificultad (Curtis y Barnes 2001).

2.5.3 Los metales pesados en el suelo

Es de vital importancia conocer los límites máximos permisibles de estos elementos en suelos con fines agrícolas, teniendo en cuenta el pH presente en el mismo, dado que a altas concentraciones pueden causar fototoxicidad.

Tabla 1. Valores máximos permisibles de metales pesados en suelos utilizados con fines agrícolas (BOE, 1990) (mg.kg^{-1} masa de suelo seco).

Metales	Suelo con pH menor de 7	Suelo con pH mayor de 7
Cd	1.0	3.0
Cu	50.0	210.0
Ni	30.0	112.0
Pb	50.0	300.0
Zn	150.0	450.0
Hg	1.0	1.5
Cr	100.0	150.0

Los suelos urbanos presentan características peculiares, como la presencia de capas de distinto origen, pobre estructura y, en algunos casos, alta concentración de metales pesados (Kabata y Pendias, 1992). En los horizontes superficiales de los suelos urbanos, el enriquecimiento en metales pesados puede deberse a fuentes difusas, como el tránsito vehicular, o a fuentes puntuales como las emisiones industriales.

Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la disposición de residuos de todo tipo han contribuido a

una acumulación de estos elementos en suelos. Es importante avanzar en el estudio de líneas base de referencia y en el conocimiento de la concentración de metales en suelos contaminados, para establecer regulaciones adecuadas que permitan avances en la protección del ambiente y la salud humana.

Existen diversos antecedentes acerca del enriquecimiento con metales en suelos urbanos. Sánchez et al. (1994) encontraron contaminación con Cd y Pb en suelos y vegetales de jardines urbanos de Salamanca (España), relacionados con la densidad de tránsito vehicular y la distancia a las rutas.

Los valores altos de plomo son comunes en suelos de áreas urbanas, en Seúl se ha determinado que son dependientes de la densidad de tránsito (Yun et al., 2000). El Pb, Zn y Cd también han resultado elevados en un estudio efectuado en Hungría, comparando suelos cercanos a carreteras y suelos no contaminados.

En suelos urbanos de Palermo (Sicilia) se encontraron concentraciones de Pb, Zn, Cu, Sb y Hg mayores que las de suelos naturales, con gran influencia en este caso del tránsito vehicular (Salvagio et al., 2002). Tanto el Zn como el Pb también han resultado altos en áreas urbanas de Nigeria (Gbadegesin y Olabode, 2000), y (Onianwa et al., 2001), encontraron elevadas concentraciones de metales (especialmente Pb y Cu) en la vecindad de talleres de automóviles. En Hong Kong, debido a la rápida urbanización y la escasez de tierras, la mayoría de los parques urbanos está cerca de áreas industrializadas y los suelos urbanos tienen altas concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn (Li et al., 2001).

La solubilidad del Pb puede disminuir mediante el encalado. En condiciones alcalinas el Pb precipita como hidróxido, fosfato o carbonato, y también se promueve la formación de complejos orgánicos estables de Pb. La acidez creciente en el suelo puede aumentar la solubilidad de Pb, pero su movilización generalmente es más lenta que su acumulación en las capas de suelo ricas en materia orgánica. La localización característica del Pb cerca de la superficie del suelo, se relaciona principalmente con la acumulación superficial de materia orgánica.

Los suelos destinados a horticultura urbana pueden considerarse de “uso sensible” desde el punto de vista ecotoxicológico, por lo que la acumulación de metales pesados en suelos

de ambientes urbanos requiere urgente atención de urbanistas y ambientalistas, para prevenir su lixiviación a los mapas de agua y minimizar el riesgo para la salud (Gbadegesin y Olabode, 2000).

En la Argentina, existen políticas de promoción de la agricultura pública urbana a nivel nacional, cristalizadas en la creación de PROHUERTA, y a nivel local, experiencias en Buenos Aires y Rosario especialmente (Madaleno, 2001). En trabajos anteriores se alertó acerca de la presencia de metales pesados en suelos urbanos y suburbanos de Buenos Aires (Ratto et al., 1999; Marbán et al., 1999; Giuffré et al., 1999).

El exceso o presencia de dichos elementos en los suelos, los que al ser absorbidos primeramente por los organismos y las plantas que en el se desarrollan y después, por los organismos que engrosan la cadena trófica, pueden ocasionar alteraciones o trastornos en su metabolismo.

2.5.4 Metales pesados en el agua

Uno de los recursos naturales más preciados por la humanidad en todos los tiempos es el agua. Uno de los factores más importantes a considerar en la agricultura resulta la lluvia, y su empleo y conocimiento se hace imprescindible respecto al diseño de cultivos idóneos para una determinada zona, mantenimiento de las especies autóctonas y optimización del desarrollo de las cosechas, siempre con miras a obtener el máximo rendimiento y que ello debe complementarse con localizar los mejores momentos para cultivar, fertilizar, recolectar, etc. (España, 2006).

La cantidad de agua de calidad que se suministra a las ciudades por los acueductos no es ilimitada y tiene un costo relativamente elevado. El agua, con frecuencia escasa debe dedicarse, en primer lugar, a satisfacer las necesidades directas de la población y luego se suele priorizar otras ramas de la economía, fundamentalmente el turismo y la industria - la agricultura urbana compite con desventaja frente a estas priorizadas.

El riego es muy importante para lograr altos y buenos rendimientos agrícolas, máxime en el cultivo de las hortalizas, la mayoría de las cuales se caracterizan por altas tasas de evapotranspiración. (Ortega, 2007)

El registro continuo de los datos meteorológicos permite igualmente apreciar las posibles variaciones o cambios que se pudieran producir a la norma establecida para un determinado lugar. En Cuba se han realizado muchos estudios sobre el tema de la lluvia, desde caracterizaciones (Lecha et al., 1994; Lapinel et al., 1999) hasta modelos de pronóstico (Cárdenas, 1987).

Numerosos trabajos han mostrado la importancia de las precipitaciones que ocurren en diferentes momentos y fenologías de cultivos. (Pedrol et al., 2007).

Estudios necesarios la realización de estudios de los acumulados históricos de precipitaciones que permitan contar con una herramienta de trabajo eficaz para la elaboración de estrategias en la agricultura. (Martín, et al.; 2004).

Todos los metales pesados se encuentran presentes en los medios acuáticos, aunque sus concentraciones son muy bajas pueden ser tóxicos como cualquier otro elemento (Peña et al. 2001).

Las plantas acuáticas (algas) y los bivalvos (como mejillones, ostras, etc.) no son capaces de regular con éxito las concentraciones de metales pesados y de ahí puede derivarse una serie de problemas. Así por ejemplo, el mercurio puede hacer decrecer dramáticamente la capacidad de fotosíntesis de un alga y los bivalvos por su parte acumulan los metales pesados, pudiendo pasar éstos directamente al ser humano por ingesta (Plumlee y Logsdon 1999).

2.5.5 Metales pesados en humanos

Según Reilly, (1980), los metales pueden jugar un papel importante en el metabolismo normal del organismo humano como son el calcio, potasio, sodio, magnesio, hierro, zinc, selenio, manganeso, cobre, molibdeno, cobalto, cromo, sílice, níquel, estaño o bien tóxicos como el cadmio, plomo, mercurio, berilio, arsénico y bario.

Otras fuentes considerables de metales pesados son los recipientes para cocinar, comer o almacenar vino, productos enlatados, tuberías para agua, pinturas, aparatos para destilar, soldaduras de latas, sales para vidriado, joyería, etc. Entre los niños se observa el hábito

"pica" o sea ingerir materiales extraños como arena, yeso de las paredes (con pintura), morder lápices, etc., lo que ha repercutido en intoxicaciones por plomo (Schaffner, 1981).

Según Lucas, (1974) se estima que se ingiere aproximadamente 0,35 mg de plomo (en los Estados Unidos de América), de los cuales 0,31 mg provienen de alimentos, principalmente de vegetales que lo han adquirido por deposición. Un factor que influye la concentración de plomo en un vegetal, es su localización respecto a zonas industriales o carreteras.

El Cadmio (Cd) es acumulativo y altamente tóxico para los humanos y animales. El 90% del Cd ingerido se acumula en diversos tejidos. Niveles tóxicos de Cd dan origen a hipertensión y trastornos cardiovasculares, disfunciones renales, disturbios en las funciones del crecimiento, enfisema pulmonar, rinitis, osteomalacia, y afecciones cancerígenas. El comité mixto FAO-OMS recomienda una ingesta máxima semanal entre 0.0067 y 0.0083 g/kg.

El cobre, en grandes dosis ejerce una acción tóxica e irritante al ser uno de los metales más activos entre los catalizadores oxidantes, destruye de un modo especial el carbono y además inhibe fuertemente el desarrollo bacteriano, por esta razón, cabe pensar en la acción sobre la flora intestinal produciendo trastornos en la digestión o el metabolismo. (Castro y Monroy 2002).

Según Agencias e Instituciones especializadas como **USEPA:** (United States Environmental Protection Agency) **IACR:** (International Association for Research on Cancer) **ACGIH:** (International Symposium on Occupational Exposure Limits) **OSAH:** (Occupational Safety and Health Administration) varios metales pesados resultan cancerígenos o probables cancerígenos para los humanos.

IACR clasifica como probables cancerígenos humanos a Cd, Co y Pb. También USEPA se refiere a que el Cd y Pb resultan probables elementos cancerígenos.

ACGIH/ OSAH evalúa al Cd como sospechoso de producir cáncer en humanos. Todas estas instituciones coinciden en plantear que el Ni es un elemento cancerígeno.

3. Materiales y Métodos:

El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Martha Abreu” de las Villas, situada en el kilómetro 5 ½ de la carretera de Camajuaní en la ciudad de Santa Clara, provincia Villa Clara.

3.1 Ubicación de los organopónicos de la ciudad de Santa Clara y su relación con la calidad ambiental del entorno urbano.

Se realizó un diagnóstico sobre los organopónicos en la ciudad de Santa Clara, teniendo en cuenta las áreas activas (vivas) dedicadas a los mismos, ubicación, cercanías a fuentes fijas de emisión de contaminantes y vías de acceso, cultivos que desarrollan, áreas que ocupan (m²), así como el entorno construido alrededor de los mismos.

3.1.1 Selección de organopónicos y toma de muestras.

Se seleccionaron 4 organopónicos en la ciudad, de ellos 3 dentro del perímetro urbano y 1 en zonas más alejadas (periurbano).

Para un análisis comparativo más detallado se seleccionaron las áreas de desarrollo agrícola urbano tomando como base los estudios sobre calidad del aire en la ciudad de Santa Clara realizados por especialistas del Centro Meteorológico Provincial Villa Clara (CMP VC) y los resultados del proyecto “Cuantificación de los indicadores de la calidad del aire en Villa Clara” obtenidos por el Centro de Estudios y Tecnologías Azucareras de la Universidad Marta Abreu de las Villas (CETA) y el propio CMP VC, (Martines et al, 2004), los cuales emplean para la determinación de las zonas más contaminadas la modelación de la dispersión de los contaminantes utilizando como herramienta el Software elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Al mismo se le introducen datos de: Ubicación de las fuentes de emisión, emisión de contaminantes calculadas previamente a través de factores de emisión y mediciones, datos meteorológicos, topográficos y cartográficos.

Para el estudio se seleccionó la lechuga (*Lactuca sativa* L), por ser uno de los vegetales más cultivados en organopónicos en el periodo poco lluvioso (Noviembre-Abril).

El trabajo de campo se realizó entre los meses Enero y Febrero de 2009, en este período de tiempo se recolectaron todas las muestras (plantas, suelo y agua). Se tomaron muestras de tallos y hojas (dos plantas) de lechuga cuando estaban en fase de recolección en 6 puntos (inicio, medio y final) de dos cámaras por cada uno de los 4 organopónicos seleccionados, para un total de 24 muestras. Las muestras siempre fueron tomadas en horas de la tarde por considerarse el momento de mayor incidencia de los factores contaminantes del ambiente y haber transcurrido la posible presencia de rocío. También se tomaron muestras de suelo de cada uno de estos puntos (24 muestras) y 1 muestra del agua utilizada para el riego en cada una de estas entidades agrícolas, para un total de 4 muestras de agua.

3.2. Metodologías utilizadas.

3.2.1 Análisis del comportamiento de las variables climáticas.

Se realizó el análisis de las variables climáticas dirección del viento y precipitaciones durante un periodo de más de treinta años, mediante la conformación de bases de datos, como parte de un proyecto ejecutado por el Centro Meteorológico Provincial, con el control de la calidad de los datos, el análisis estadístico correspondiente mediante el paquete SPSS versión 9.0 y el análisis de los resultados, teniendo en cuenta las características del viento anual y por periodo y su componente predominante para la ciudad, así como la caracterización de las precipitaciones tanto para el periodo lluvioso como poco lluvioso, descripción detallada de periodos extremos de sequía, fuertes acumulados de lluvia y posibles tendencias que afecten dichos periodos.

3.2.2 Análisis y determinación de metales pesados en agua, suelo y órganos de la planta de lechuga.

El análisis de todas las muestras recolectadas (plantas, suelo y agua) se llevó a cabo en el laboratorio de "Espectroscopia" perteneciente al CIAP. Se determinó mediante técnicas de laboratorio el contenido de determinados metales pesados en agua (riego y lavado de hojas), suelo y órganos de las plantas (hojas, tallo) empleando la metodología de Espectrofotometría de Absorción Atómica (Rowe, 1983)

Se determinó el contenido de metales pesados Plomo(Pb), Cobre(Cu), Hierro(Fe), Cobalto(Co), Manganeso(Mg), Zinc(Zn), Níquel(Ni) y Cadmio(Cd) en partes por millón (ppm) en el agua de deposición proveniente del lavado de las hojas del cultivo objeto de estudio. Una vez lavadas las hojas se acidificaron con 5 ml HCL concentrado (pH-1), se filtró y se realizó la lectura con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam.

Para el análisis del suelo se tomaron 6 muestras de cada organopónico, a una profundidad de 10 cm, se procedió a la maceración y tamizado, se emplearon 5 g de suelo seco y molido de cada uno de los puntos de muestreo en 50 ml de HCL (0.1 normal), se agitó en una zaranda por una hora, se filtró y se realizó la lectura del contenido de metales pesados mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam.

En cada organopónico se tomó una muestra del agua de riego de la fuente de abasto, para todos los casos pozos, tanto para suelo como para agua de riego se determinó la concentración de metales pesados mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam.

Para el análisis del contenido de metales pesados en los tejidos (hojas) se secaron en la estufa a 65 °C hasta obtener peso constante, se realizó una digestión ácida, se filtró y se realizó la lectura de la concentración de los metales pesados mediante un Espectrofotómetro de Absorción Atómica SP-9 Pye Unicam para muestras con un peso de 4 y 5 gramos de tejido seco.

Las concentraciones de metales pesados para el tejido vegetal de la lechuga fueron comparadas según lo establecido por la NC NC-493: 2006 en la que se hace referencia a los índices toxicológicos siguientes:

IDA. Ingesta diaria admisible, expresada en miligramo por kilogramo (mg/kg) de peso corporal.

ISA. Ingesta semanal admisible, expresada en miligramo por kilogramo (mg/kg) de peso corporal.

ISAT. Ingesta semanal admisible temporal, expresada en miligramo por kilogramo (mg/kg) de peso corporal.

ISTP Ingesta semanal admisible temporal, expresada en microgramos de peso corporal ($\mu\text{g}/\text{PC}$) de los contaminantes metálicos comprendidos en esta norma.

Además de los criterios referidos anteriormente se acude a analizar algunos metales no abordados en dicha norma. Se consulta el Codex Alimentarius, en relación con los contaminantes metálicos presentes en los alimentos.

Posteriormente basándonos en los índices toxicológicos de Cálculo de Ingesta diaria admisible (IDA, identificada además como DDA, dosis diaria admisible) se aplicó la fórmula de cálculo siguiente:

$$\text{IDA} = \text{DESO} / \text{FS}$$

IDA o DDA: Ingesta Diaria Admisible

DESO: Dosis Sin Efecto Observable Esperado (Acrónimo de sus siglas en inglés).

FS: Factor de Seguridad sobre la base de extrapolar estudios en animales de experimentación no humanos al humano.

Posteriormente sobre la base de la IDA se calcula el LMR (Limite Máximo Residual) a partir de la siguiente fórmula.

$$\text{LMR} = (1000 \text{ W} / \text{a}) \times \text{DDA}$$

W = 60 Kg de peso corporal (estándar)

a = ingesta promedio de los alimentos.

$1000 \text{ W} / \text{a} = \text{K}$ (factor de multiplicación)

$$\text{LMR} = \text{K} \times \text{DDA}$$

En el laboratorio de suelos del CIAP se determinó el PH del sustrato en agua (H_2O) y cloruro de potasio (KCl para cada uno de los organopónicos, mediante el método potenciométrico (relación suelo: solución 1: 2.5).

Para procesamiento estadístico de los resultados obtenidos de las concentraciones de metales pesados en la deposición de las hojas, agua de regadío, suelos y tejido vegetal se empleó el paquete estadístico STATGRAPHICS versión 5.0 del 2000. Se emplearon pruebas de Duncan y Kruskall-Wallis.

4. Resultados y Discusión.

4.1 Antecedentes de la agricultura urbana en el municipio.

La ciudad de Santa Clara ubicada en el centro de la provincia y del país, fue fundada por Real Orden de la Corona española en el siglo XVII el 15 de julio de 1689, posee un área geográfica total de 513,7 km². Limita al norte con Cifuentes, Camajuaní y Placetas, Manicaragua por el sur y Ranchuelo por el oeste. Su población actual es de 238 424 habitantes.

La ciudad de Santa Clara posee un total de 72 entidades agrícolas urbanas, organizadas en 28 subprogramas teniendo en cuenta la diversidad de producciones necesarias para contribuir a la satisfacción de las necesidades alimentarias de la población, de ellas 49 pertenecen al Ministerio de la Agricultura (MINAG) y 45 a la Granja Urbana, donde producen todo tipo de hortalizas y condimentos frescos.

4.2 Comportamiento de las variables climáticas precipitación y viento

La atmósfera cuenta con distintos elementos para diluir los contaminantes del aire y disminuir sus efectos: el viento, los torbellinos (movimiento del aire en sentido vertical), las lluvias que hacen precipitar las partículas hacia el suelo, la topografía del terreno, etc. Las variables climáticas que se tienen en cuenta son viento y precipitaciones.

Precipitaciones

Se identifican dos épocas climáticas para la región:

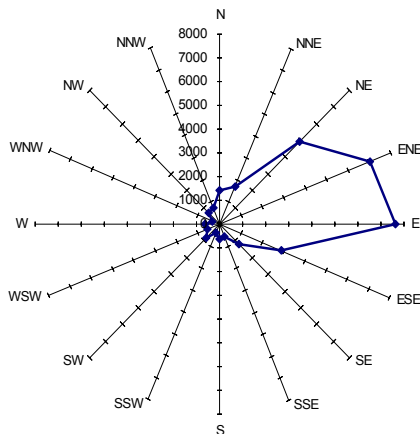
- la época poco lluviosa, que abarca de noviembre a abril.
- la época lluviosa, de mayo a octubre.

Durante la época poco lluviosa, periodo en que se realizó el estudio el promedio histórico mensual oscila entre 32.1 y 84.0 mm, y entre 157.6 y 224.2 mm para la temporada de lluvias. (Estudio de las precipitaciones para la provincia Villa Clara.2006)

El promedio histórico anual de la variable precipitación para el municipio de Santa Clara es de 1373 mm. Se cuenta con una serie histórica de más de 30 años, presentándose

periodos de sequía en los años 1977, 1979, 1986 y 2004, este último año presentó los valores más bajos dentro de toda la serie.

Viento período poco lluvioso:



El viento histórico para este período 1976 - 2005 presenta componente predominante del E, con una velocidad media de 10.64 km/h, aunque si consideramos la incidencia de las calmas en los registros analizados la rapidez del viento se reduce a solo 7.5 km/h. Las calmas presentan un valor medio de ocurrencia de 25.1 %.

En los meses de Febrero a Abril es donde ocurren las velocidades medias del viento sin tener en cuenta las calmas, más altas entre 10 y 11 aunque considerando la incidencia de las calmas se reducen a 7 y 8 km/h.

(Estudio de la Climatología de la dirección y velocidad del viento para la estación Agrometeorológica del Yabú. 2006)

4.3 Análisis de la ubicación de los organopónicos:

Santa Clara se encuentra dividido en 17 Consejos Populares: Centro, Camacho-Libertad, Capiro-Santa Catalina, Vigía-Sandino, Escambray, Universidad, Abel Santamaría, José Martí, Condado Norte, Virginia, Antón Díaz, Aeropuerto, Sakenaf, Condado Sur, Chambery, Manajanabo, Yabú-Hatillo.

Las zonas de mayor contaminación de la Ciudad de Santa Clara resultaron ser la zona Hospitalaria, Centro y Ferrocarril y en ellas existe una red de organopónicos que suman en su totalidad 14, que representan un 9 % de total con posible riesgo por la contaminación ambiental. Tabla 2.

Tabla 2. Relación de organopónicos en las diferentes áreas de mayor contaminación atmosférica en la Ciudad de Santa Clara.

Área	Número de Organopónicos
Hospitalaria	9
Centro	2
Ferrocarril	3
Total	14

La zona de mayor contaminación, zona hospitalaria, coincide con la de mayor número de organopónicos con 9, seguido por la del Ferrocarril con 3 y el Centro con sólo 2 organopónicos.

Existen otras unidades ubicadas en zonas donde no existe una base de dato que demuestre con exactitud la concentración de contaminantes, pero si se encuentra bajo la influencia de este, las cuales en cierta medida tiene incidencia negativa en los cultivos, ejemplo de estas áreas son: Condado y Santa Catalina.

La parte Este y Este Noreste son las menos contaminadas como resultado de un menor número de fuentes fijas de emisión y mejores condiciones para el transporte y dispersión de los contaminantes (pocos contornos altos, mayor ventilación), también influye una mayor calidad del aire de fondo.

Los organopónicos seleccionados para la toma de muestra se representan (georeferencian) en la figura 1.

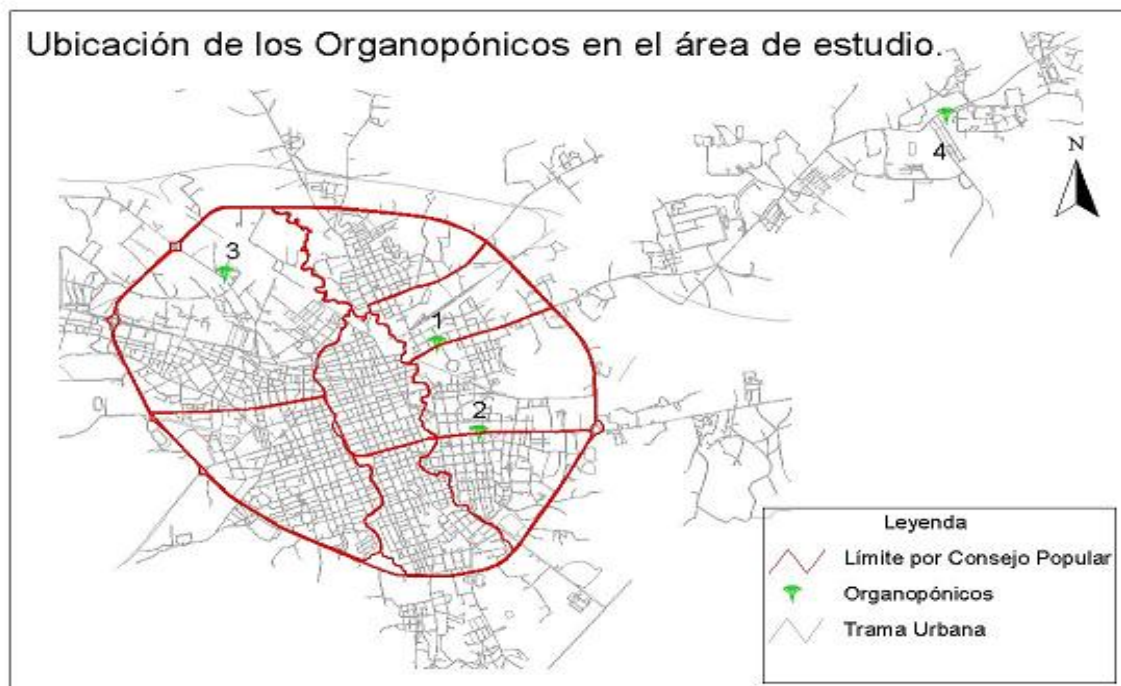


Figura 1. Ubicación de los organopónicos seleccionados en la ciudad de Santa Clara.

1- Semilla de Combatientes ubicado en la Carretera a Camajuaní, entre C y D, con una extensión de 471 m², con la principal emisión de contaminantes dada por el flujo de automóviles a menos de 5 metros.

2- El Anapista, ubicado en la carretera Central y calle quinta de la Vigía con un área de 406 m², con la emisión de contaminantes de la chimenea de la Torrefactora y el vial de acceso con una fuerte afluencia de transporte automotor a escasos metros de dicha entidad agrícola.

3- Petrolito ubicado en la carretera a Subplanta, con una amplia extensión de 3000 m² y con entidades cercanas emisoras de contaminantes tales como: Grupos electrógenos, Fábrica de pienso y el vial de acceso, con menor tráfico vehicular y a 10 metros de distancia.

4- Ernesto Ché Guevara, organopónico periurbano, ubicado en la carretera a Camajuaní, en el Kilómetro 5 y alejado de la principal vía de acceso, con una extensión de 1200 m² y alejado de fuentes fijas de emisión y principales vías de acceso.

4.4. Valoración de las Zonas más contaminadas de la ciudad de Santa Clara.

En la ciudad de Santa Clara las principales fuentes contaminantes están dadas por las fuentes fijas entre las que se encuentran las calderas, hornos y las fuentes móviles en este caso el transporte automotriz este último en mal estado como resultado de los años de explotación. Después que el contaminante es emitido a la atmósfera depende principalmente de las condiciones meteorológicas existentes y de las características topográficas del terreno así como del fondo habitacional (edificios y otros elementos constructivos a determinadas alturas)

Luego del análisis de toda la información, se determina que la zona más contaminada de la ciudad es la hospitalaria. En esta zona se encuentran ubicados 9 organopónicos muy próximos a las vías principales de acceso a la ciudad y de fuentes fijas, tal como es el caso de las calderas de las instalaciones hospitalarias y chimeneas de otras pequeñas industrias, que emiten sus contaminantes al aire. Se une a ello la dirección predominante del viento (E-ENE), o sea desde estas zonas mas contaminadas hacia la ciudad, lo cual proporciona que los gases contaminantes y algunas de las formas particuladas puedan ser transportados a grandes distancias, causando problemas en sitios alejados de las fuentes, así las deposiciones locales sumadas a las que provienen de otras zonas, pueden llegar a superar la capacidad de suelos, vegetación, etc.

Estos efectos de hecho pueden pasar inadvertidos por mucho tiempo hasta que se sobrepase el umbral de la carga crítica y súbitamente empiecen a aparecer los síntomas de deterioro con los costos económicos y sociales derivados, con posibles efectos de secado de las plantas, interferencia en la captación de energía lumínica, afectación de la fotosíntesis y producción de manchas rojizas y negruzcas, que facilitan el desarrollo de microorganismos, disminuyendo así la producción de los cultivos desarrollados en estas áreas.

4.5. Análisis del pH en los sustratos de los organopónicos estudiados.

En los cuatro organopónicos estudiados el pH se encuentra en niveles de ligeramente ácido a neutro (Tabla 3) lo que los convierte en aptos para los cultivos de hortalizas. Asimismo se demuestra que las zonas de ubicación de los mismos no guarda relación con este parámetro. Estos resultados coinciden con Huerres (2002) al referirse a los sistemas de producción agrícola urbanos.

Tabla 3. Valores de pH en agua y Kcl en los sustratos de los organopónicos.

Organopónico	pH en H ₂ O	pH en Kcl
1	6.037	5.912
2	6.77	6.29
3	6.80	6.6
4	7.1	6.9

4.6. Análisis de la concentración de metales pesados

4.6.1 Deposición de metales pesados en la superficie de las hojas.

La tabla 4 muestra los resultados de las pruebas de rango múltiple obtenidas para los elementos Fe, Pb y Zn. Puede observarse que en el organopónico “Semillas de Combatientes” (Tto 1) los tres metales pesados se encuentran en mayores concentraciones en deposición sobre las hojas de lechuga, con diferencia estadística con el organopónico 4. Este organopónico se encuentra ubicado en zona urbana y de alta contaminación atmosférica, muy cerca de la carretera y con una dirección predominante del viento del E- ENE, que hace que todas las partículas se muevan en dirección al mismo. Todo lo contrario ocurre en el organopónico “Ernesto Guevara” (Tto 4), donde los tres metales pesados analizados se encuentran en menores concentraciones respecto a los demás organopónicos. Esto puede estar dado por el hecho de que este se encuentra ubicado en una zona periurbana y de calidad del aire superior, en un lugar fuera de la ciudad, lejos de las fuentes contaminantes y alejado de la circulación de vehículos y por

ello se encuentra en suspensión menor cantidad de partículas de metales, lo que hace que en la superficie de las hojas de la lechuga se encuentren depositadas en menor cuantía. Según Lucas (1974) se estima que se ingiere aproximadamente 0,35 mg de plomo (en los Estados Unidos de América), de los cuales 0,31 mg provienen de alimentos, principalmente de vegetales que lo han adquirido por deposición. Un factor que influye la concentración de plomo en un vegetal, es su localización respecto a zonas industriales o carreteras.

Tabla 4. Concentración de Fe, Pb y Zn en deposición sobre hojas de lechuga en los cuatro organopónicos (mg/L).

Tratamientos	Hierro (Fe)	Plomo (Pb)	Cinc (Zn)
1	8.480 a	0.219 a	0.799 a
2	7.400 ab	0.121 ab	0.781 a
3	5.526 ab	0.159 ab	0.308 b
4	3.313 b	0.109 b	0.304 b

Letras desiguales en la misma columna denotan diferencias significativas según la Prueba Múltiple de Rangos Duncan para un p-value ≤ 0.05 .

4.6.2 Concentración de metales pesados en agua.

Las figuras 2 y 3 muestran las concentraciones de metales pesados para el agua de riego de los 4 organopónicos analizados. La concentración de cadmio encontrada en el organopónico 2 está alrededor del nivel máximo considerado permisible para aguas de riego (0.01 mg/L) según Ayers, R. y Wescott, D. (1985), lo cual indica cierto nivel de preocupación por la utilización de esta fuente de abasto de agua para el riego en ese organopónico. El Cd es uno de los metales traza del suelo más solubles (Jansson, 2002) y peligrosos, debido a su alta movilidad y a que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas, siendo soluble en estados oxidados.

Las concentraciones encontradas en los otros organopónicos están por debajo de ese nivel, siendo el organopónico 4 donde menor concentración se encontró.

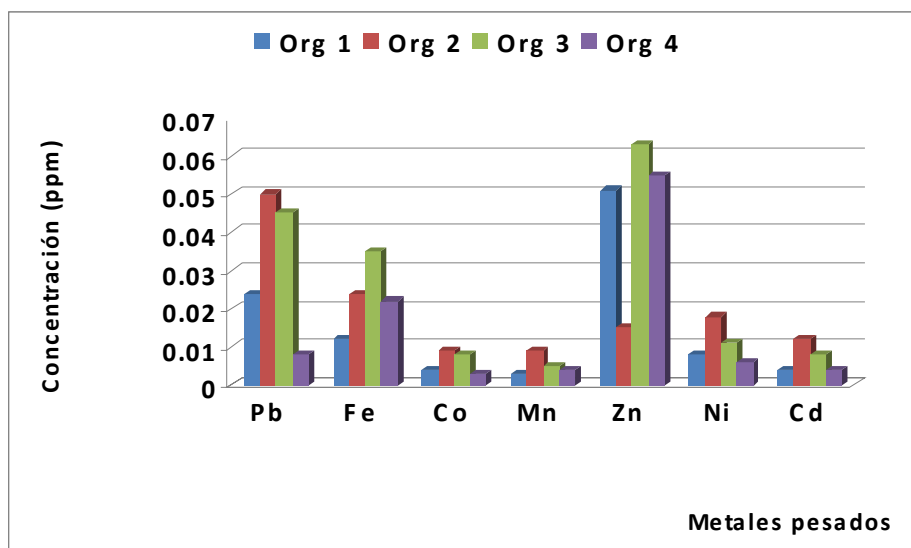


Figura 2. Concentración de metales pesados en el agua de riego.

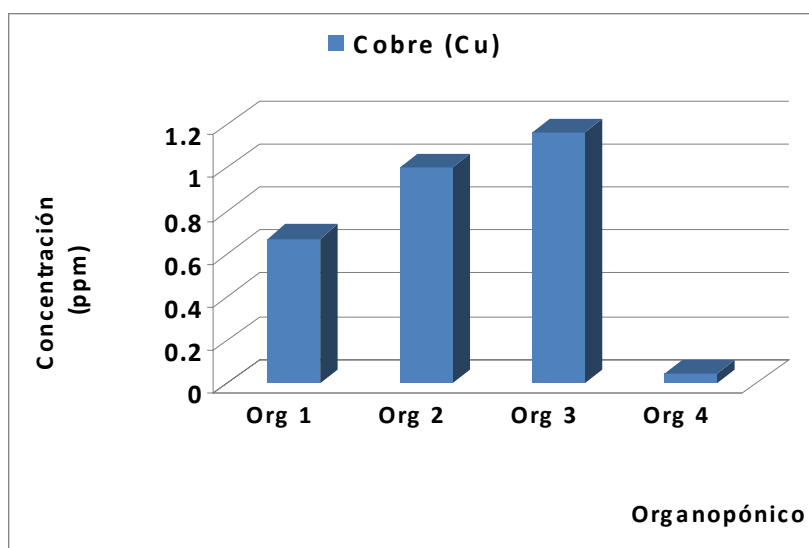


Figura 3. Concentración del elemento Cobre en agua de riego.

Para los metales Cu y Ni en los cuatro organopónicos las concentraciones encontradas superan al valor máximo permisible de 0.02-0.07 ppm y 0.002 ppm respectivamente, como valores normales en el medio ambiente, según William et al. (2000) y para ambos los valores más bajos corresponden al organopónico 4.

El cobre puede estar presente en el agua por el contacto de ésta con minerales que contienen cobre o con desechos minerales en la producción de cobre. Sin embargo, es

más probable que el cobre que se encuentra en el agua sea un producto de corrosión de las tuberías o de amalgamas de cobre (Ministerio de Agricultura - INRENA 2003).

El resto de los metales analizados están dentro de los parámetros normales para agua potable.

4.6.3 Concentración de metales pesados en el suelo.

Las tablas 5 y 6 muestran los resultados obtenidos para los elementos analizados presentes en el suelo, puede observarse que para el organopónico “Semillas de Combatientes” (Tto 1) todos los elementos se encuentran en mayores concentraciones, excepto el níquel, dicho organopónico se encuentra en una zona urbana, con una calidad ambiental deteriorada y un tránsito vehicular a escasos metros de la vía de acceso altamente transitada. Los menores valores de concentración se presentaron en el organopónico periurbano “Ernesto Guevara” (Tto 4).

Para el elemento Plomo se observa que entre los tratamientos 1, 2 y 3 no hay diferencia estadística y sí entre estos y el tratamiento número 4. Los tratamientos 1, 2 y 3 se corresponden con los organopónicos que están en áreas urbanas con alta posibilidad de contaminación ambiental, no siendo así en el 4 que se encuentra en área poco contaminada. Estos valores son superiores a los reportados por Williams et al. (2000) quienes plantean que en suelo deben estar entre 0.5 y 2.5 mg en 100 g/suelo seco y resultan superiores a los valores máximos reportados por BOE (1990) al estar en niveles superiores a 5 mg en 100 g/suelo seco. La concentración normal de plomo en suelo varía de 2 a 200 mg/kg, de donde puede ser absorbido por las raíces o tubérculos cultivados en este tipo de suelo (Berg, 1969; Berres y Fowles, 1976; Blaxter y Alleroft, 1950; Elfving, et al 1979).

En suelos contaminados con Pb, este se encuentra comúnmente asociado a Cd y Zn (Hettiarachchi y Pierzynski, 2002). La barrera suelo-planta limita la transmisión de Pb a la cadena alimenticia, ya sea por procesos de inmovilización química en el suelo (Laperche et al., 1997), o limitando el crecimiento de las plantas antes que el Pb absorbido alcance

niveles que pueden ser dañinos para el ser humano.

El hierro, cobalto y el cadmio se presentan en mayores concentraciones en los tratamientos 1 y 2 sin diferencia entre ellos y sí con los tratamientos 3 y 4. Los valores de Cadmio y Cobalto resultan superiores a los reportados por Williams et al (2000) siendo de 0.1 y 0.1- 4.0 mg/L en 100 g de suelo seco, respectivamente.

Tabla 5. Concentración de metales pesados en el suelo en los cuatro organopónicos (mg/L x 100 g de suelo seco)

Tratamientos	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Co	Cd
1	8.54 a	19.667 b	470.167 a	12.05 a	6.967 a	4.183 a	2.667 a
2	7.833 a	23.333 a	290.667 b	11.3 a	4.513 b	4.116 a	2.667 a
3	7.777 a	14.667 c	333.833 b	4.6 b	3.817 b	3.6 b	1.0 b
4	6.097 b	13.333 c	28.0 c	3.28 b	3.267 b	3.5 b	0.817 b
EE	0.497	1.000	37.538	1.355	0.579	0.075	0.178

Letras diferentes denotan diferencias significativas según Duncan para un p-value ≤ 0.05 .

Tabla 6. Concentración de Cinc (Zn) en el suelo en los diferentes organopónicos.

Organopónicos	Promedio	Media de Rangos
1	4.33	19.833 a
2	2.91	17.167 ab
3	0.66	9.50 b
4	0.08	3.50 b
Valor crítico de comparación		10.771

*Media de Rangos según Kruskal-Wallis. Letras diferentes en la columna denotan diferencias significativas según la Prueba Múltiple de Rangos para un alfa de 0.05.

4.6.4 Concentración de metales pesados en los tejidos de la planta.

Lucas (2008) se refiere a que algunos elementos químicos, como cadmio, cobalto, cobre, plomo, níquel, se encuentran repartidos en pequeñas cantidades por todas partes.

Algunos compuestos de estos metales pueden sufrir acumulación en la cadena trófica, lo

que origina que, a pesar de encontrarse en dosis muy bajas en el ambiente, pueden llegar a concentrarse en plantas o animales, hasta llegar a provocar daños en la salud.

La tabla 7 muestra las concentraciones de metales pesados encontrados en el tejido de las plantas de lechuga en los organopónicos seleccionados. Los niveles de concentración de Hierro, Cobalto y Cinc encontrados en tejidos de la planta de lechuga no muestra diferencias estadísticas entre organopónicos para $p \leq 0.05$ y sus valores están en el orden de los reportados por Phillip, M. et al. (2000). Esto significa que estos elementos no varían sustancialmente en los tejidos vegetales cuando son cultivadas en diferentes lugares respecto al área urbana y periurbana de Santa Clara.

Las mayores concentraciones de plomo se encontraron en los organopónicos 1 y 2 sin diferencia estadística entre ellos y sí con el 3 y éste a su vez con el 4. Una vez más queda claro que hay menor concentración de elementos en las áreas menos contaminadas. Estudios realizados en México indican un contenido de plomo de 0,22 mg/kg para cebolla y de 0,24 mg/kg para lechuga (Valle-Vega y López, 1982). En las plantas su concentración es <5 mg/Kg (base seca), un incremento ocasiona disminución de las funciones de crecimiento y fotosíntesis (Castro y Monroy 2002).

La absorción y traslocación de Pb por deposición atmosférica en las hojas puede llegar a ser un 73 a 95 % del contenido de Pb total en plantas de hoja (como espinaca) y cereales (Kabata- Pendias, 2000). Estos autores plantean un rango y contenido medio para lechuga entre 0.07- 0.3 mg en 100g de tejido seco.

En los demás metales (Ni, Mn, Co y Cd) numérica o estadísticamente se observan menores valores en el organopónico 4 que se encuentra fuera de la ciudad, con niveles variables para los demás organopónicos. Esto demuestra que dentro del área urbana se concentran en los tejidos vegetales altos niveles de estos elementos sin grandes diferencias entre las posiciones o lugares donde se produzcan.

Para el caso del cadmio los valores encontrados superan a los máximos permisibles para alimentos humanos (<1 ppm) según (WORLD HEALTH ORGANIZATION--WHO, 1963, International Standards for drinking water), excepto en el organopónico 4 que se encuentra en niveles ligeramente inferiores a este máximo permisible.

Los alimentos que más contribuyen a la ingesta de cadmio son los vegetales en conjunto, seguidos por los pescados. En las plantas su concentración es <0.1 a 1 mg/Kg en base seca (Castro y Monroy, 2002; Brack y Mendiola 2000).

Según la FAO y la OMS (1993), el valor límite sugerido para cereales y leguminosas de grano es de 0.1 mg/Kg de Cd. DE ha observado que las plantas de lechuga traslocan mucho más Cd a hojas y tallos que otros cultivos como ballica y pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.) (Jarvis et al., 1976). Las hojas nuevas de lechuga y espinaca tienen mayor acumulación de Cd que las hojas viejas (McKenna et al., 1993)

Aún cuando los efectos del Cd varían a nivel de especie, e incluso varietal, en general el Cd interfiere en la absorción y transporte de varios elementos (Ca, Mg, P y K) y del agua (Das et al., 1998).

Tabla 7. Concentración de metales pesados en los tejidos de la planta en los cuatro organopónicos (mg/L x 100 g de tejido seco).

Tratamientos	Pb	Ni	Mn	Fe	Cu	Co	Cd	Zn
1	10.597 a	14.8 a	51.433 a	279.35 a	12.867 a	4.217 a	1.415 b	38.4 a
2	10.105 a	10.187ab	36.917 b	200.217 a	9.098 b	3.433 a	1.667 ab	32.03 a
3	6.7 b	9.177 ab	52.258 a	247.05 a	12.9 a	3.455 a	2.058 a	34.05
4	3.623 c	5.908 b	30.883 b	194.3 a	6.73 c	3.45 a	0.917 c	36.38 a
EE	0.6934	1.8974	4.529	32.849	0.7359	0.4091	0.1324	5.148

Letras diferentes denotan diferencias significativas según Duncan para un p-value ≤ 0.05 .

Puede observarse que las mayores concentraciones de los elementos analizados, excepto para el Cadmio, pertenecen al organopónico “Semillas de Combatientes” (Tto 1) con diferencias significativas con respecto al organopónico “Ernesto Guevara” (Tto 4), prevaleciendo un amplio rango entre dichas concentraciones.

4.6.4.1 Peligrosidad de acumulación de metales pesados en tejidos de lechuga.

A continuación nos referiremos a la peligrosidad intrínseca que se deriva de la acumulación de los metales más tóxicos contenidos en el tejido vegetal de los organopónicos referenciados. La tabla 8 contiene la comparación entre los LMR referidos por La norma

cubana y codex internacionales de alimentación para los metales investigados en el presente estudio.

LMR, Estos límites máximos residuales representan el contenido máximo residual de la sustancia analizada que se permite que esté presente en un determinado alimento o grupo de alimentos; y son el resultado de estudios experimentales de acuerdo a las “Buenas Prácticas Agrícolas” (BPA).

Tabla 8. Resultados del Límite máximo residual basado en criterios de IDA, ISA, ISAT o ISTP para metal en base a normas cubanas e internacionales.

Tratamientos	Pb	Cu	Fe	Co	Mn	Zn	Ni	Cd
1	34.32	41.16	907.73	13.65	167.05	124.80	47.78	4.55
2	32.50	29.42	650.25	11.05	119.93	134.55	33.05	4.88
3	17.23	33.45	802.75	11.05	169.65	112.78	31.53	6.50
4	1.17	17.23	631.14	11.05	100.10	118.30	19.18	2.93
LMR (X)	4.625	30	148	46.72	370	111	37	15.33
Organopónico	1,2,3>x>4	1,3>x>2,4	1,2,3,4>x	x>1,2,3,4	x>3,1,2,4	x>2,1,4,3	1>x>2,3,4	x>3,2,1,4

*mg xenobiótico / 325 g de alimento

La tabla 8 refiere que el cálculo del LMR mostró niveles de residualidad altos para el metal Plomo en los organopónicos 1, 2 y 3. El organopónico 4 fue el único que registró valores inferiores al LMR calculado para este metal.

Para el caso del Cobre se obtuvo valores por encima al LMR para el organopónico 1 y 3, aunque no con una marcada deferencia.

Los metales Hierro y Cinc mostraron niveles superiores al LMR para todos los organopónicos, mientras que el Ni en el organopónico 1 mostró los niveles superiores al calculado para LMR. El resto de los metales se ubicaron en los límites permisibles.

4.6.5. Propuesta de gestión ambiental para el desarrollo de la producción agrícola urbana de hortalizas de hojas en la ciudad de Santa Clara.

1. Realizar estudios periódicos a las concentraciones de metales pesados en cultivos agrícolas urbanos que se desarrollan cercanos a las principales vías de acceso, vías férreas e industrias.
2. Caracterización física, química y microbiológica de la materia orgánica utilizada como sustrato y del agua de riego en las producciones agrícolas urbanas.
3. Proponer para esta modalidad agrícola las producciones de hortalizas de hojas en zonas periurbanas de la ciudad.
4. Empleo de especies de plantas captadoras de contaminantes ambientales como barreras en los organopónicos urbanos.
5. Empleo de especies de plantas indicadoras de metales pesados dentro de las áreas agrícolas urbanas.
6. Proponer la utilización de telas metálicas o de otro material alternativo con el objetivo de disminuir las concentraciones provenientes de los procesos de combustión y emanaciones industriales.
7. Desarrollar programas de capacitación ambiental sobre esta temática dirigido a los tomadores de decisiones, dirigentes y productores agrícolas.
8. Realizar periódicamente monitoreo ambiental sobre los posibles contaminantes en la ciudad.
9. Buscar alternativas para la destoxificación o disminución de la concentración de metales pesados en los sistemas de producción agrícola urbano.
10. Estudiar la posibilidad de selección de cultivos resistentes con bajo poder de absorción para los diferentes metales pesados, en dependencia de la concentración de estos en las áreas de desarrollo agrícola urbano.

5. Conclusiones

1. Los organopónicos y entidades agrícolas urbanas destinadas a la producción de hortalizas, vegetales y condimentos frescos, se ubican indistintamente sin tener en cuenta las zonas de mayor y menor calidad ambiental, ni la cercanía a las principales vías de acceso o fuentes fijas de emisión de contaminantes.
2. Los organopónicos ubicados en el área urbana de la ciudad de Santa Clara presentan mayores niveles de concentración de metales pesados en agua y suelo en relación al ubicado en zona periurbana.
3. El organopónico 4 “Ernesto Guevara”, ubicado en la zona periurbana de la ciudad presentó los niveles más bajos en cuanto a presencia de metales pesados en los tejidos de lechuga.
4. El Cálculo de Límite Máximo Residual (LMR) permitió determinar los elevados niveles de residualidad para los metales plomo (Probable cancerígeno en humanos y animales), cobre (Exposición medioambiental relativamente no tóxica) y níquel (cancerígeno) en los organopónicos “Semillas de Combatientes”, “El Anapista” y “Petrolito”, ubicados todos en la zona urbana de la ciudad y con calidad ambiental deteriorada, no detectándose en el organopónico “Ernesto Guevara” riesgos por dicha presencia.

Recomendaciones:

1. Realizar estudios cinéticos para los metales más tóxicos y los que presentan las mayores concentraciones.
2. Efectuar estudios de microorganismos del suelo, materia orgánica de cada uno de los suelos y efectos de diferentes concentraciones de metal sobre la síntesis de clorofila, así como otros estudios de fototoxicidad (germinación, vigor vegetativo y otros).
3. Acudir a modelaciones matemáticas para predecir efectos tóxicos de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas que contengan metales pesados.
4. Acudir a métodos de remediación para desosificar o hacer descender los elevados niveles de metales pesados.

7. Referencias Bibliográficas

- Ayers R. y D. W Wescott. (1985): Water quality for agriculture, FAO, No 29.
- Berg, M.H. (1969). Lead absorption form soil into legumes. J. Minn. Acad. Sci. 36(2-3):96. CA 1971:124238f
- Berres, G.; Fowles, W.A. (1976): Lead content of roadside fruit. Food Chem. 1(1):5.
- Blaxter, D.L. y Alleroft. (1950): Lead as a nutritional hazard to farm animals. J. Comp. Path. Therap. 60:140.
- BOE (Boletín Oficial de Estado) (1990): Real Decreto 1310/1990, de 29 de Octubre, por el que se regula la Utilización de los lodos de depuración en el sector Agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 262 p.
- Brack, A. y Mendiola, C. (2000): "Ecología del Perú". Editorial Bruño. Lima – Perú: 494.
- Bravo, A.H. (1989): La contaminación atmosférica y su relación con el flujo de vehículos en la Ciudad de México. Instituto de Ingeniería, UNAM. México 20, D.F.
- Cárdenas, P. (1987): Probabilidades de días consecutivos con precipitación para tres localidades de la región central de Cuba. Reporte de Investigación del Instituto de Meteorología No. 27.
- Castillo Caro C. (2007): El Dióxido de Azufre y sus Efectos sobre las Plantas. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Elementos de Contaminación Atmosférica. Disponible en <http://cabierta.uchile.cl/revista/28/articulos/>, consultado: (Septiembre, 16, 2007)
- Castro, J. y. Monroy, M. (2002): Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente. San Luís de Potosí, México. UNESCO – INGEMMET – Perú.
- Companioni, N.; Ojeda, Y.; Páez, E.; Murphy, C. (2001): La Agricultura Urbana en Cuba. Transformando el campo cubano. Avances de la Agricultura sostenible. 93 – 108 p.
- Corona, J.P. (2003): De la agricultura a la mesa. Gaceta universitaria de la Universidad de Guadalajara, Septiembre, 9-10 p.

- Cuevas, G.; Walter, I. (2004): Metales pesados en maíz (*Zea Mayz* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Rev. Int. Contam. Ambient.* vol.20, no. 2, 59 - 68. p
- Cunningham, S. D.; Ow, D. W. (1996): Promises and prospects of phytoremediation. *Plant phisiology*, Rockville, vol. 110, 715 – 719 p.
- Curtis, H; Barnes, S. (2001): "Biología" 6º Edición en español. Editorial Médica Panamericana. Madrid – España: 1498.
- Chilcott, R.P (2008): Principle and practice of skin toxicology. USA.
- Das, P. Smantaray, S and Rout, G.R. (1998): Studies on cadmium toxicity in plants. *Environmental Pollution*.98:29-36.
- Díaz, R., Díaz, A. 1999. Ministerio de Salud Pública, Área de Higiene y Epidemiología. Programa de mejoramiento de la calidad del aire en Cuba; 12(3):151-6
- España. (2006): Pluviómetro. Disponible en <http://pluviometro.com/temasdivul/agri.htm>, (consultado Noviembre, 28, 2006)
- Elfving D C.; Bache, C.A.; Lisk, D.L y Lisk, D.J. (1979): Lead content of vegetable millet and apple trees grown on soils amended with colored newsprint. *J. Agric. Food Chem.* 27(1):138.
- FAO/WHO. (1973). Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission. List of maximum levels recommended for contaminants. CAC/FAC-2.
- FAO. (2006): Prioridades Regionales, Seguridad Alimentaría. Agricultura urbana y periurbana. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/aup/>, consultado Febrero, 10, 2007)
- Ferret, D.J.; Milner, G.W.C. y Smales, A.A. (1954): Determination of lead in cocoa with a Square
- Ferreira, M.C.; Pessoa da Cruz, M. C. (1991): Micronutirntes na agricultura. Piracicaba: Associacao Brasileira para pesquisa da Potassa e do Fosfato, 734 p.
- Giuffré, L.; Ratto, S.; Marbán, L. (1999): Contaminación de un suelo urbano afectado por residuos sólidos. *Gerencia Ambiental*.37:529-531.

- Gbadegesin, A.; Olabode, M.A. (2000): Soil properties in the metropolitan region of Ibadan, Nigeria: implications for the management of developing countries. *Environmentalist* 20: 205-214.
- Glosser, J. Murphy, F. Osbeern, B. (1994): Ensuring food safety requires national effort. *California Agric.* 48 p
- Grupo Nacional de Agricultura Urbana. (2003): Lineamientos para los Subprogramas de la Agricultura Urbana para el año 2003 y sistema evaluativo. Ministerio de la Agricultura. La Habana.
- Hettiarachchi, G.M and Pierzynski, G. M. (2002): In situ stabilization of soil lead using phosphorus and manganese oxide. Influence of plant growth. *J. Environ. Qual.*, 31:564-573.
- Huerres, C. (2002): Instructivo de hortalizas para organopónicos. Folleto, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UCLV.
- Hodder, A. (2007): Prioridades Regionales, Seguridad Alimentaria. Producción vegetal. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/>, consultado: (Febrero, 10, 2008)
- Jarvis, S.C; Jones, L.H. and Hopper, M. J. (1976): Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. *Plant and Soil* 44:179-191.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. (1992): Trace elements in soils and plants, 2nd.ed. CRC Press.150 p.
- Kabata – Pendias, A. (2000): Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, USA. 413 p.
- Kloke, A. y Leh, H.O. (1968): Pollution of cultivated plants with lead from auto exhaust. *Air Pollut Proc. Eur. Cong.* 1st. 22-27, Apr. (Pub. 1969).
- Lapinel, B.; Rivero, R.; Aroche, R. (1999): Caracterización de los factores circulatorios, hídricos y energéticos asociados al comportamiento anómalo del régimen de las lluvias en Cuba. Informe Científico – Técnico, Instituto de Meteorología. 120 p.
- Lasat, M. (2000): The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, Environmental Science and Engineering Fellow.

- Li, X.; Poon, C.; Liu, P.S. (2001): Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry*, 16: 1361-1368.
- Lock, I.; Zeeuw, H. (2000): Mitigación de los riesgos para la salud asociados con la agricultura urbana y peri-urbana. Conferencias electrónicas "Agricultura urbana y peri-urbana en la agenda política" FAO y ETC-RUAF, disponible en: <http://www.FAO.org/urbanag> (consultado Marzo, 16, 2001)
- Lecha, L., L. Paz y B. Lapinel (1994): *El clima de Cuba*, Ed. Academia, Ciudad de La Habana, 186 pp.
- Leidi, E. O.; Gómez M.; Guardia M. D. (1987): De la Soybean genetic differences in response to Fe and Mn: activity of metalloenzymes. *Plant Soil*, vol. 99, 139-146 p.
- López, G. (2001): Límites permisibles de Cr, Zn, Cu, Se y As en suelo: Aproximación metodológica. (Trabajo de diploma). Universidad Autónoma de Chapingo, 72 p.
- Loayza, J (2008): Mecanismos para la absorción y traslocación de metales pesados en las plantas Boletín electrónico Informativo sobre productos y residuos químicos. FQIQ, UNMSM, Lima. Perú. año 4, No 37. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org>. (Consultado: Mayo, 20, 2008)
- Lucas, J. (1974). *Our polluted food*. A Halsted Press Book. London.
- Lucas, E. (2008): Trazas de metales en elementos: Boletín electrónico Informativo sobre productos y residuos químicos. FQIQ, UNMSM, Lima. Perú. Año 4, No 37. Disponible en: <http://www.sag.gob.cl/biblioteca.digital/documentos/>. (Consultado: Julio 12, 2009)
- Madaleno, I.M. (2001): Urban Agriculture Supportive Policies in Latin America. City Farmer, Canada's Office of Urban Agricultura.
- McKenna, I.M; Chaney, R.L, and Williams, F.M. (1993): The effects of cadmium and zinc interactions on the accumulation and tissue distribution of zinc and cadmium in lettuce and spinach. *Environmental Pollution*.79: 113-120.
- Martín, E.; Rodríguez, R.; Marrero, I. (2004): Informe final proyecto territorial "Estudio mapificado sobre un Sistema de Información Geográfico del Comportamiento Histórico de las Precipitaciones en la provincia Villa Clara". 50-54 p.

- Martínez, R., Moya, A. et al. (2001): "Índice de calidad del aire de la ciudad de Santa Clara". Informe Final Proyecto Internacional.
- Martínez, E. (2004): Metales pesados en lodos residuales generados en una planta de tratamiento de aguas residuales de aguas calientes, (Trabajo de diploma); Universidad Autónoma de Chapingo, México. 75 p.
- Marbán, L.; Giuffré, L.; Ratto, S.; Agostini A. (1999): Contaminación con metales pesados en un suelo de la cuenca del río Reconquista. *Ecología Austral* 9: 15-19.
- Ministerio de Agricultura – INRENA. (2003): Monitoreo de la Calidad de Aguas Superficiales del Río Crucero. Perú: 45.
- Müller, A. (2007): Agricultura urbana contra el hambre. Productos frescos y saludables para los habitantes de las ciudades. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/> (consultado: Febrero, 10, 2008)
- Murthy, G.R. y Rhea, U.S. (1972): Cadmium copper iron, lead. Manganese and zinc in evaporated milk. Infant Products and human milk. *J. Dairy Sci.* 54(7):1001.
- NC-493 (2006): Contaminantes metálicos en alimentos. Regulaciones sanitarias.
- OMS (1990): Orientaciones para predecir la ingesta alimentaria de residuos de plaguicidas. Programa conjunto PNUD / FAO / OMS de vigilancia de la contaminación de alimentos. Ginebra.
- Ormrod, D.P. (1982): Air pollutant interactions in mixtures. Unsworth, In M.H.; Ormrod, D.P., eds. *Effects of gaseous air pollution in agriculture and horticulture*. London, Butterworth Scientific. p. 307-331.
- Onianwa, P.C; Jaiyeola, O.M; Egekenze, R.N. (2001): Heavy metals contamination of topsoil in the vicinities of auto-repair workshops, gas stations and motor parks in a Nigerian city. *Toxicology and Environmental Chemistry*, 84:33-39.
- Ortega, S., F.; Gallegos, R. (2007): Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/vol. 16, número 001, Universidad Agraria de la Habana. Cuba. El riego con aguas de mala calidad en la Agricultura Urbana. Aspectos a considerar. I. Aguas salinas o alcalinas. p. 41-44.
- Parada, E.; Velasco, O. y Ávila, M. (1975). Determinación del contenido de plomo en alimentos enlatados. *Rev. Technol. Alim.* 10:170.

- Pedrol, H.M.; Castellarín, J.M.; Salvagiotti, F. y Rosso, O. (2007): El cultivo de maíz y las condiciones climáticas.
- Peña, C.; Carter, D. y Ayala, F. (2001): "Toxicología Ambiental: Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental". University of Arizona, 150 p.
- Phillip M., Robert C. James RC, Stephen MR. (2000): Principles of toxicology: environmental and industrial application. 2ed. A John Wiley & Sons. Inc. publication. USA
- Planos, E.; Barrios, O. (1998): Impacto del cambio climático. Medidas de adaptación en Cuba. Sector Recursos Hidráulicos, CENHICA E Instituto de Meteorología, La Habana.
- Plumlee, G.; Logsdon, M. (1999): "The environmental geochemistry of mineral deposits". Part A: processes, techniques and health issues. Volume 6A. Michigan – USA. 369 p.
- Public Health Service. (1965): Symposium on Environmental Lead Contamination. dec. 13-15. U.S.
- Ratto, S.; González, M.; Marbán, L. y Giuffré, L. (1999): Calidad de suelos antrópicos en espacios verdes urbanos. Gerencia Ambiental. 38:36-40.
- Reilly, C. (1980). Metal contamination of food. Applied Science Publisher Ltd. London.
- Río, L. A. Del.; Scandalio, L. M.; Yanez, J.; Gómez M. (1985): Induction of manganese superoxide dismutase in leaves of *Pissativum* by high nutrient levels of Zn and Mg. J. Inorg. Biochem. vol. 24, p.25-34.
- Rowe, C.J. (1983): Food Analysis by Atomic Absorption Spectroscopy. Varian Techtron, Australia.
- Salvagio, M.D; Angelone, M.; Bellanca, A.; Neri, R. y Sprovieri, M. (2002): Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. The Science of the Total Environment 300: 229-243.
- Sánchez, C.M.; Sanchez, M.J.; Lorenzo, L.F. (1994): Lead and cadmium in soils and vegetables from urban gardens of Salamanca (Spain). The Science of the Total Environment 146:163-168.

- Schwarzerová, K.; Zlenkova, S.; Nick, P; Opatrn, Z. (2002): Aluminuim induced rapad changes in the microtubular cytoskeleton of tobacco cell lines. *Plant Physiol and Cell*, vol. 43, no.2, 207 – 216.
- Shibamoto, T. y Bjeldanes, L. (1993): *Introducción a la toxicología de los alimentos*. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza.
- Schaffner, R.M. (1981): Lead in canned foods. *Food Technol.* 34(12):60.
- Schuck, E.A. y Locke, J.K. (1970): Relation of automotive lead particulated to certain consumer crops. *Environ. Sci. Technol.* 4(4):324.
- Socorro, A.R et al. (2002): *Modelo Alternativo para la Racionalidad Agrícola*. Biblioteca Digital Portable. CETAS/Universidad de Cienfuegos, Cuba.
- Valle-Vega, P. y López, C.A. (1982): Determinación de plomo en cebolla y lechuga consumidas en el Distrito Federal. *Technol. Aliment. (Méx.)* 18(4):4.
- Watson, R. (2008): Boletín de Agicultura urbana. No 9-10 Abril-Septiembre. Red de Noticias de África. La Agricultura Africana, disponible en: <http://www.ecodes.org/pages/noticias/evento.asp?Id=4404>, (consultado: abril, 12, 2008)
- Williams P.L; James R.C; Roberts S.M. (2000): *Toxicology. Environmental and industrial application*. Second Edition. JOHNWILEY & SONS, INC. 200 p.
- World Health Organization, (1963), *International Standards for drinking water*.
- Yun, S.T.; Choi, B.Y.;Lee PK. (2000): Distribution of heavy metals (Cr, Cu, Zn, Pb, Cd, As) in roadside sediments, Seoul Metropolitan City, Korea. *Environmental Technology* 21: 989-100