



UNIVERSIDAD ESTATAL DE CUENCA

“MAESTRÍA EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL”

TÍTULO:

**FITOTOXICIDAD DEL MATERIAL
PARTICULADO SEDIMENTABLE (MPS)
GENERADO EN LA ZONA URBANA DEL
CANTÓN CUENCA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

AUTORA: Dra. Mónica Eulalia Abad Terán

DIRECTORA: Dra. Nancy Beatriz García Alvear Msc.

CUENCA, ECUADOR

2014



RESUMEN

En este trabajo se determinó la fitotoxicidad del Material Particulado Sedimentable (MPS) generado en la zona urbana del cantón Cuenca, mediante un bioensayo, evaluando si la concentración de MPS es suficientemente alta y en su composición contiene sustancias tóxicas como para afectar el desarrollo normal de las plantas. Los bioensayos se realizan con el supuesto de que los organismos probados son sucedáneos o claves de organismos superiores presentes en el ambiente natural (Escalante, E. 2000). El MPS se recolectó en tres sitios de la zona urbana del cantón Cuenca, mediante método descrito en el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULASMA). Se conoce que en el material particulado están presentes una variedad de sustancias tóxicas, entre ellas los metales pesados y aniones (CEA. 2009), por lo que se realizó la determinación de la concentración de MPS utilizando el análisis gravimétrico, la de los metales pesados por espectroscopía de absorción atómica, y la de aniones por método adaptado de referencia EPA 300.1. Posteriormente se evaluó su fitotoxicidad en cuatro especies, mediante el bioensayo de germinación y elongación de raíz e hipocótilo, con método adaptado por Sobrero M. (2005) de la Guía 850.4200 USEPA-OPPTS, en semillas de *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea itálica*, *Allium cepa* y *Raphanus sativus*. En el bioensayo las semillas se expusieron a diferentes diluciones de la suspensión acuosa de MPS, los resultados dependieron de la concentración y de la especie analizada, evidenciando diferentes grados de fitotoxicidad.

Palabras clave: Fitotoxicidad, Material Particulado Sedimentable, Bioensayo.



ABSTRACT

In this work the phytotoxicity of Sedimentable Particulate Material (acronym in spanish: MPS) generated in the urban area of canton Cuenca was determined by bioassay, determining if the MPS concentration is so abundant and if its composition contains toxic substances enough to affect the normal development of plants. Bioassays are conducted with the assumption that the organisms tested are keys to higher organisms in the natural environment (Escalante, E. 2000). The MPS was collected at three sites in the urban area of canton Cuenca, by the method described in the Unified Text of Secondary Environmental Legislation of the Ministry of Environment (acronym in spanish: TULASMA). It is known that particulate matter are present in a variety of toxic substances including heavy metals and anions (CEA. 2009), so that the determination of the concentration of MPS was done using gravimetric analysis, by atomic absorption spectroscopy for heavy metals, and by the adapted method with reference EPA 300.1 for anions. Subsequently phytotoxicity was evaluated in four species by bioassay of germination and root- and hypocotyl-elongation, with a method adapted by Sobrero M. (2005), Guide 850.4200 USEPA-OPPTS, in seeds of *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea italica*, *Allium cepa*, *Raphanus sativus*. In the bioassay seeds were exposed to different dilutions of the aqueous suspension of MPS, the results were dependent on the concentration and the tested specie, showing different levels of phytotoxicity.

Keywords: Phytotoxicity, Sedimentable Particulate Material, Bioassay



ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE	3
CLÁUSULA DE RESPONSABILIDAD	5
DERECHOS DE AUTOR	6
AGRADECIMIENTOS	7
DEDICATORIA.....	8
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS	10
ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Contaminación del aire	14
2.2 El material particulado atmosférico	14
2.3. Fuentes de emisión del material particulado	15
2.4 Principales tipos de partículas atmosféricas	16
2.5 Tamaño de partícula	19
2.6 Marco Normativo	20
2.7 Efectos en la salud	21
2.8 Efecto sobre los vegetales	22
2.9 Los Bioensayos	28
2.10 Las Semillas	30
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Tipo de estudio y Diseño.....	35
3.2 Variables e Indicadores	35
3.3 Población, muestra y forma de muestreo.....	36
3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de la información.....	38
3.5 Técnicas de análisis instrumental.....	38



3.6	Técnicas de análisis estadístico	42
CAPITULO IV: RESULTADOS.....		43
4.1	Concentración de MPS	43
4.2	Aniones	43
4.3	Metales pesados	44
4.4	Análisis Estadístico de los datos obtenidos en el bioensayo.....	45
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....		52
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....		64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		67
ANEXOS		72



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Mónica Eulalia Abad Terán, autor de la tesis "FITOTOXICIDAD DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE (MPS) GENERADO EN LA ZONA URBANA DEL CANTÓN CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 6 de enero de 2014

Mónica Eulalia Abad Terán
0102135175

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Mónica Eulalia Abad Terán, autor de la tesis "FITOTOXICIDAD DEL MATERIAL PARTICULADO SEDIMENTABLE (MPS) GENERADO EN LA ZONA URBANA DEL CANTÓN CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGÍSTER EN TOXICOLOGÍA INDUSTRIAL Y AMBIENTAL. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 6 de enero de 2014

Mónica Eulalia Abad Terán
0102135175

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Nancy García Alvear, Directora del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca, por su valiosa ayuda, por compartir sus conocimientos y guiarme paso a paso para culminar esta tesis.

A la Ing. Diana Moscoso Vanegas y a todo el personal técnico del Centro de Estudios Ambientales, por su apoyo durante la realización de la parte experimental de este trabajo en el laboratorio.

Mónica Abad Terán.



DEDICATORIA

A Jesús, el camino, la verdad y la vida, y a su Santísima Madre, la Virgen María.

A mi esposo Augusto, y a toda mi familia, por el apoyo y cariño incondicional.

Mónica Abad Terán.



LISTA DE TABLAS

Tabla 1.- Tabla de resumen de los efectos adversos del exceso de diversos metales pesados y aniones en las plantas	26
Tabla 2.- Concentraciones de MPS ($\text{mg}/\text{cm}^2 \times 30 \text{ d}$), obtenidas en los tres puntos de monitoreo en las diferentes zonas de la ciudad de Cuenca	43
Tabla 3.- Concentración (mg/Kg) de los aniones: Cloruro, Nitrato y Sulfato en el MPS	43
Tabla 4.- Valores obtenidos de los metales pesados: Cobre, Cadmio, Cromo, Hierro, Manganeso, Níquel y Zinc en la muestra de MPS.	44
Tabla 5.- Concentraciones (ppm) obtenidas de los metales pesados: Cobre, Cadmio, Cromo, Hierro, Manganeso, Níquel y Zinc en la muestra de MPS.....	44
Tabla 6.- Porcentajes de germinación de las semillas de las cuatro especies, en las diferentes concentraciones de MPS, en la prueba 1 y prueba 2.	45
Tabla 7.- Medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) de las cuatro especies, en las diferentes concentraciones de MPS.	49



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Esquema de las partes de una típica semilla.....	31
Figura 2.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de lechuga, de la prueba 1 y de la prueba 2.....	46
Figura 3.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de Brócoli, de la prueba 1 y de la prueba 2.....	47
Figura 4.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de Cebolla, de la prueba 1 y de la prueba 2.....	48
Figura 5.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de Rábano, de la prueba 1 y de la prueba 2.....	49
Figura 6.- Gráfico de medias de la elongación de raíz (cm), en las semillas de las cuatro especies: lechuga, brócoli, cebolla y rábano.....	50
Figura 7.- Gráfico de medias de la elongación de hipocótilo (cm), en las semillas de las cuatro especies: lechuga, brócoli, cebolla y rábano.....	51



ABREVIATURAS Y SIMBOLOGÍA

ATSDR: Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry).

CEA: Centro de Estudios Ambientales-Universidad de Cuenca.

CESEMIN: Centro de Servicios y Análisis de Minerales Metálicos y no Metálicos. Universidad de Cuenca.

COVs: Compuestos orgánicos volátiles.

EPA: Agencia de Protección al Medioambiente. (Environmental Protection Agency).

FDA: Administración de Drogas y Alimentos. (Food and Drug Administration).

IARC: Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. (International Agency for Research on Cancer).

IPCC: Panel Intergubernamental sobre el cambio climático. (Intergovernmental Panel on Climate Change)

MPS: Material Particulado Sedimentable.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PM₁: Conjunto de partículas que atraviesa un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 1 μm con una eficiencia de corte del 50 %.

PM₁₀: Conjunto de partículas que atraviesa un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 10 μm con una eficiencia de corte del 50 %.

PM_{2.5}: Conjunto de partículas que atraviesa un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 2,5 μm con una eficiencia de corte del 50 %.

TULASMA: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente.

USEPA: United States Environmental Protection Agency.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El Material Particulado Sedimentable (MPS) está constituido por partículas de diferentes tamaños y composición química, dispersas en un medio gaseoso como es la atmósfera, y es generado por un amplio rango de fuentes de emisión tanto naturales como antropogénicas, entre estas últimas es importante la cantidad emitida por las fuentes de combustión estacionarias y móviles entre ellos, fábricas y vehículos motorizados. El MPS puede permanecer en el aire durante varias horas, hasta uno o dos días, y puede ser transportado en la atmósfera a ciertas distancias; afecta al desarrollo normal de la vida y su peligrosidad depende de su composición, tamaño y permanencia en el aire.

El MPS es considerado como uno de los contaminantes del aire que tiene un efecto perjudicial en la salud de las personas y de los demás seres vivos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que la contaminación atmosférica causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo; investigaciones realizadas en varios centros urbanos en diferentes partes del mundo revelaron que el nivel de gravedad de los desórdenes en la salud está directamente relacionado con la concentración de partículas en el aire ambiente (Venegas L. 2004)

El 17 de octubre de 2013 la OMS a través de uno de sus organismos la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) anunció que ha incluido a la contaminación ambiental como uno de los elementos que causan cáncer en los seres humanos. Según la IARC, en 2010 se registraron 223.000 casos de muerte por cáncer de pulmón provocado por contaminación, y el riesgo aumenta en la medida en que crecen los niveles de contaminación ambiental, un fenómeno que se está produciendo en todo el mundo, pero sobre todo en los países más industrializados de Asia y América Latina.

En la ciudad de Cuenca la Unidad de Gestión Ambiental del Municipio (2008), realizó estudios en los cuales analiza la contaminación producida por los gases de



vehículos que se incrementan cada año de manera muy acelerada. En el año 2011 se contabilizaron alrededor de 90.000 vehículos con un crecimiento anual del 8%, de los cuales el 85% tiene altos efectos contaminantes (Cuencaire). Entidades como el Centro de Estudios Ambientales (CEA) de la Universidad de Cuenca en sus investigaciones sobre la Calidad del Aire (2006) y Evaluación del Riesgo de Exposición a Sustancias Tóxicas procedentes de la Contaminación Atmosférica en la Ciudad de Cuenca (2009), concluye que el material particulado está presente en el aire ambiente de la ciudad y que este material tiene como parte de su composición metales pesados como cromo, cadmio, zinc, hierro, níquel, cobre y manganeso entre otros; además, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, y compuestos aniónicos, entre otros compuestos. Estos productos tóxicos presentes en el MPS afectan el desarrollo normal de la vida en todos los niveles tróficos.

El MPS es un contaminante ambiental que en el Texto Unificado de Legislación Ambiental del Ministerio del Ambiente (TULASMA) se establece como un parámetro de la contaminación del aire, es de naturaleza compleja no sólo por sus características físicas (masa, tamaño, forma y densidad), sino también por sus características químicas (contiene contaminantes primarios y secundarios, compuestos orgánicos e inorgánicos, metales pesados). Estas características se las considera como factores críticos de toxicidad que intervienen en los diferentes niveles tróficos y que se pueden usar para determinar el tipo y magnitud de los efectos sobre la salud humana.

En este sentido en la presente investigación se determina la composición química del MPS recogido en tres diferentes puntos de monitoreo de la zona urbana del cantón Cuenca y su fitotoxicidad, mediante bioensayos de germinación de semillas y la medición de la longitud de la raíz y del hipocótilo. La información obtenida complementa los datos ya existentes respecto a la contaminación del aire en la ciudad de Cuenca, y genera nueva información sobre su fitotoxicidad.



CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contaminación del Aire

La contaminación atmosférica es la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas sólidas, líquidas y gaseosas en el aire, ya sea por causas naturales o antropogénicas. La presencia de estas partículas tiene un efecto perjudicial en la salud de las personas y de los demás seres vivos, además pueden atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables.

Existe una gran cantidad de sustancias químicas que pueden contaminar el aire, las más comunes, sometidas a medidas de control, son: monóxido de carbono, el dióxido de azufre, compuestos orgánicos, partículas, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. Las cuatro primeras afectan de forma directa a la calidad de vida, mientras que las dos últimas constituyen los ingredientes del smog fotoquímico, cuyos efectos dañinos se deben a la formación de ozono y otras moléculas oxidantes. (Spiro y Stigliani, 2004)

La contaminación atmosférica puede ser local, cuando los efectos se sufren en las inmediaciones del foco emisor de partículas, o planetario cuando por las características del contaminante, afecta el equilibrio del planeta y zonas alejadas a los focos emisores. Es un problema sobre todo en las ciudades, aunque también se desplaza a todos los lugares.

2.2 El material particulado atmosférico

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera (Mészáros, 1999). Es necesario considerar que el término material particulado atmosférico es un concepto amplio que engloba tanto las partículas en suspensión



como las partículas sedimentables (diámetro > 10 μm), caracterizadas por un corto tiempo de residencia en la atmósfera (varias horas a 2 días).

Las partículas atmosféricas afectan al balance de radiación terrestre y poseen efectos nocivos sobre la salud al ingresar en los pulmones bloquean la entrada del aire; como sucede en los mineros del carbón o en los barrenderos urbanos.

Las partículas con tamaño superior a varias micras se eliminan más fácilmente porque quedan atrapadas en la nariz y garganta. (Spiro y Stigliani, 2004).

Las partículas emitidas directamente a la atmósfera desde las fuentes de emisión son denominadas partículas primarias y las que se forman en la atmósfera a partir de precursores gaseosos (por condensación o coagulación) constituyen las partículas secundarias. Existe un gran número de componentes particulados primarios y secundarios, lo que determina que la química del material particulado sea un problema complejo. (Venegas, 2004)

2.3 Fuentes de emisión del material particulado

Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antropogénico. De origen natural es el polvo que por acción del viento pasa al aire, partículas que proceden de emisiones volcánicas y el aerosol marino. De origen antropogénico, son todas aquellas que se producen en las industrias y las generadas por la combustión de diferentes materiales. Las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (primarias) o bien ser generadas por reacciones químicas (partículas secundarias).

Como resultado de esta variabilidad de fuentes y transformaciones, el material particulado atmosférico consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes distribuciones granulométricas y composición química, ambas condicionadas por la composición de los gases que las



rodean. Los niveles de material particulado atmosférico en suspensión, se suelen expresar en forma de concentración de masa por unidad de volumen de aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y del material particulado sedimentable se expresa $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{mes}$.

2.4 Principales tipos de partículas atmosféricas

2.4.1 Materia mineral

El material particulado mineral de origen natural constituye la fracción mayoritaria en cuanto a masa del aerosol atmosférico (44% de las emisiones globales a nivel terrestre, Duce, 1995; IPCC, 1996). La formación de partículas minerales se origina por medio de la acción de los vientos sobre la superficie terrestre, en forma de emisiones fugitivas. La mayor emisión a escala global de este tipo de partícula se produce en regiones áridas o semi-áridas. La composición química y mineralógica de estas partículas varía de una región a otra dependiendo de las características y composición de los suelos, pero generalmente está constituida por carbonatos, silicatos, sulfatos y óxidos de hierro. Además de la materia mineral de origen natural, existe un número limitado de fuentes de material particulado mineral de origen antropogénico. Así, actividades como la construcción, la minería o la fabricación de cerámicas o cementos generan partículas minerales, ya sea a través de la propia actividad o durante los procesos de manipulación y transporte de materias primas.

2.4.2 Aerosol marino

El aerosol marino es el segundo tipo de partícula con mayor importancia en cuanto al volumen total de emisiones a escala global (38% de las emisiones globales a nivel terrestre, IPCC, 1996). Las partículas de aerosol marino poseen en su mayoría origen natural y son emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias). La composición química del aerosol marino deriva del agua de los mares y océanos, se encuentra formado principalmente por cloruros y sulfatos.



2.4.3 Compuestos de Azufre

Los sulfatos presentes en la atmósfera son generalmente partículas de origen secundario, ya que no son emitidos directamente a la atmósfera sino que se generan mayoritariamente como resultado de la oxidación de precursores gaseosos (principalmente SO_2). Existen fuentes naturales y antropogénicas de sulfatos primarios, como los yacimientos yesíferos o los procesos industriales de producción de ácido sulfúrico y la producción y manipulación de productos minerales tales como el yeso. Los compuestos de azufre representan aproximadamente el 7-10% de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996).

2.4.4 Compuestos de Nitrógeno

Los compuestos de nitrógeno en la atmósfera (principalmente NO_3^- y NH_4^+), al igual que los sulfatos, son de origen mayoritariamente secundario y provienen de la reacción de precursores gaseosos naturales y antropogénicos. Estos compuestos representan aproximadamente el 2-5% de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996). Las emisiones naturales de NO y NOx a escala global constituyen sólo la tercera parte de las emisiones antropogénicas (Mészáros, 1993).

En cuanto a los precursores gaseosos de los nitratos de origen antropogénico, en la actualidad se conocen numerosas fuentes emisoras entre las cuales destacan la producción eléctrica (combustión de gas, fuel-oil y carbón) y otros procesos de combustión a temperaturas elevadas (capaces de oxidar el nitrógeno atmosférico) tales como los que ocurren en los motores de los vehículos y la quema de biomasa.

Los principales gases emitidos por fuentes naturales y antropogénicas son así NO, NO_2 , N_2O y NH_3 , cuya oxidación en la atmósfera tiene como resultado más frecuente la formación de ácido nítrico (HNO_3) y amonio (NH_4^+) (Mészáros, 1999).



2.4.5 Compuestos de Carbono

Los compuestos carbonosos comprenden una amplia variedad de especies naturales y antropogénicas de composición y estructura diversa, cuya característica común es la presencia de C en su composición. Los compuestos del carbono suelen ser emitidos directamente a la atmósfera (partículas primarias) por procesos de combustión incompleta (gas, carbón y/o fuel-oil), y por tanto su origen es esencialmente antropogénico. Los compuestos de carbono orgánicos, por otra parte, pueden ser emitidos directamente a la atmósfera (por fuentes naturales y antropogénicas) o formarse por condensación de compuestos orgánicos volátiles (COVs, también de origen natural o antropogénico). Los compuestos carbonosos representan aproximadamente el 2-5% de las emisiones globales a nivel terrestre (IPCC, 1996).

La emisión de compuestos orgánicos de origen natural se produce esencialmente a través de la vegetación, la superficie de los océanos y los suelos, y puede dar lugar a partículas tanto primarias como secundarias en la atmósfera. Otra fuente de compuestos de carbono es de origen industrial así como los aportes del tráfico. Dentro de las ciudades es necesario destacar las emisiones del tráfico, y en especial las de los vehículos diésel, cuya contribución a los niveles de materia carbonosa es cinco veces superior a la de los motores de gasolina. Sin embargo, actualmente existen dudas acerca de la importancia de los aportes producidos por motores de gasolina antiguos en conjunto con las emisiones producidas en el arranque en frío de los motores de gasolina en general, que según Watson et al. (2002) pueden llegar a superar las emisiones de los vehículos diésel (Querol, X. 2010).

En cuanto a las partículas de carbono antropogénico de origen secundario, aproximadamente el 50% proviene de la evaporación de gasolina, la gasolina líquida y las emisiones de los vehículos. Asimismo, contribuyen a los niveles de COVs la fabricación y manipulación de pinturas y disolventes (Querol, X. 2010).



2.4.6 Metales

El material particulado tiene como parte de su composición química los metales: aluminio, cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, níquel, zinc y plomo. Estos metales son en su mayoría de origen antropogénico. (Jachero, L. 2009).

Los Metales pueden actuar como potentes tóxicos, tanto para los seres humanos como para los ecosistemas, según cuáles sean sus vías de exposición, la dosis absorbida y la naturaleza química del metal (Bravo L. 2012). Estos metales pueden llegar a los seres vivos, (entre otras formas) en las partículas resuspendidas en el aire que provienen de los suelos, y provocar daños en los sistemas celulares.

2.5 Tamaño de partícula

El diámetro de las partículas atmosféricas varía desde nanómetros (nm) hasta decenas de micras (μm). Generalmente se identifican diferentes rangos de tamaños de partículas.

En términos de calidad del aire se definen también cuatro parámetros fundamentales atendiendo al tamaño de corte de los sistemas de captación: MPS, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_1 . Mientras que el término MPS se refiere a Material Particulado Sedimentable, PM_{10} se define como el conjunto de partículas que atraviesa un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de $10 \mu\text{m}$ con una eficiencia de corte del 50%. La misma definición para cabezales de corte de $2.5 \mu\text{m}$ y $1 \mu\text{m}$ se aplica para $\text{PM}_{2.5}$ y PM_1 , respectivamente.

Las partículas más grandes son generalmente generadas a partir de la actividad de las construcciones, de los incendios naturales o por el polvo levantado por el viento. Se depositan en la superficie por acción gravitatoria con mayor facilidad que las finas, y por lo tanto, sus efectos se manifiestan principalmente cerca del lugar donde fueron emitidas.



2.6 Marco Normativo

Debido a que el material particulado está constituido por un conjunto heterogéneo de componentes emitidos por muy diversas fuentes, los efectos del material particulado sobre el entorno son también muy variados, y los más importantes entre ellos son el impacto en el desarrollo normal de la vida. Por esta razón se han creado diferentes Normas regulatorias de diferentes organismos a nivel mundial como, la Organización Mundial de la Salud (OMS), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), etc., y también en cada país. En Ecuador en el Texto Unificado de Legislación Ambiental secundaria del Ministerio del Ambiente (TULASMA), en el libro VI. Anexo 4. Norma de calidad de aire ambiente página 5 da la norma para la concentración de MPS.

Partículas sedimentables:

Normativa ecuatoriana: la máxima concentración de una muestra de MPS colectada en forma continua, será $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$.

La OMS da como valor máximo de MPS $0,5 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$.

Para los metales:

- La Normativa ecuatoriana, no establece valores en aire ambiente.

- La OMS establece como máximos permitidos en aire ambiente:

Cd: 5 ng/m^3

Cr: 11 ng/m^3

Fe: no disponible

Mn: 150 ng/m^3

La ATSDR establece como máximo permitido en aire ambiente:

Cr: $0-30 \text{ ng/m}^3$

Cu: $1-200 \text{ ng/m}^3$

Fe: no disponible

Ni: $7-12 \text{ ng/m}^3$

Zn: $100-1700 \text{ ng/m}^3$

**Para aniones:**

- La Normativa ecuatoriana no establece valores referenciales en aire ambiente.
- La OMS no establece valores referenciales en aire ambiente.

2.7 Efectos en la Salud

Según la OMS (Nota descriptiva N° 113 de 2011):

- La contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo.
- Cuanto menor sea la contaminación atmosférica de una ciudad, mejor será la salud respiratoria (a corto y largo plazo) y cardiovascular de su población.
- Se calcula que la contaminación del aire de interiores causa aproximadamente 2 millones de muertes prematuras, la mayoría en los países en desarrollo. Casi la mitad de esas muertes se deben a neumonías en menores de 5 años.
- Se calcula que la contaminación atmosférica urbana causa en todo el mundo 1,3 millones de muertes al año, que afectan de forma desproporcionada a quienes viven en países de ingresos medios.

Los efectos en la salud vinculados a la exposición prolongada a este contaminante son: aumento de la frecuencia de cáncer pulmonar, muertes prematuras, síntomas respiratorios severos, irritación de ojos y nariz, agravamiento en caso de asma, agravamiento en caso de enfermedades cardiovasculares.

Otras maneras menos directas en que las personas están expuestas a los contaminantes del aire son:

- El consumo de productos alimenticios contaminados con sustancias tóxicas del aire que se han depositado donde crecen.
- Consumo de agua contaminada con sustancias del aire,
- Contacto con suelo, polvo o agua contaminados.



2.8 Efecto sobre los vegetales

La publicación *"Air Quality Criteria for Particulate Matter, Vol I"* (USEPA, April 2002), resume muy adecuadamente toda la información proporcionada al declarar:

El Material Particulado transferido desde la atmósfera podría ser depositado sobre las partes superiores de la planta, respecto del suelo, y podrían generar efectos físicos o químicos o, ambos. El efecto del polvo depositado en la superficie de la planta parece estar más asociado con la química que con la masa de las partículas depositadas. El estudio de los efectos de productos químicos en el Material Particulado depositados en el follaje tiene poco o ningún efecto en los procesos foliares, a menos que los niveles de exposición sean significativamente mayores que los que típicamente podrían experimentar en el medio ambiente. La mayoría de los efectos directos fácilmente identificables, aparte del clima, ocurren en áreas severamente polucionadas alrededor de fuentes densamente industrializadas, tales como canteras de calizas, hornos de cementos, y fundiciones de hierro, plomo y otros metales. El efecto directo del Material Particulado en las superficies foliares ha sido confundido con la naturaleza química y tamaño de partículas ambientales aerotransportadas y, por la ausencia de una clara distinción entre los efectos del Material Particulado en la superficie foliar y los efectos atribuidos a formas de pululantes aéreos. La mayoría de los efectos tóxicos documentados de las partículas en la vegetación están relacionadas con su acidez, contenidos de metales traza, contenido de nutrientes, propiedades superficiales, o salinidad.

2.8.1 Fitotoxicidad

La fitotoxicidad es un efecto nocivo o dañino de una sustancia química que se puede expresar en distintos órganos en la planta. Este efecto nocivo se manifiesta a través de síntomas como inhibición de la germinación de semillas, reducción del crecimiento de la raíz y la planta en general, enrollamiento foliar, manchas, clorosis y necrosis internerval, lesiones, caída de flores y frutos y reducción de la producción.



2.8.1.1 Metales en plantas

Algunos metales como Zn, Ni, Cu, Mn, Se y Fe son micronutrientes esenciales para las plantas, porque se requieren en pequeñas cantidades de (1 a 200 ppm dependiendo del metal y la especie de planta) para su desarrollo normal (Sierra A. et al., 2007). Sin embargo cuando se encuentran en los ecosistemas en altas concentraciones pueden afectar la viabilidad y las funciones celulares. (Vargas L. et al., 2007).

Por ser de carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen los metales pesados sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosa, porque tienden a bioacumularse en diferentes vegetales, a los que pueden llegar a través de aguas contaminadas o por depósito del material particulado de la contaminación del aire.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta.

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo es alto, causan efectos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Prieto, J. et al., 2009).

Algunas plantas pueden absorber los metales, hecho que se evidenció por Stevens, et al. (2003), al sembrar lechuga y después de cosechar las mismas se evaluaron nuevamente los suelos y se observó que disminuyó la concentración de estos metales en los suelos, lo que pone de manifiesto que éstos suelos contaminados son un riesgo para la salud, al ingresar estos vegetales en la cadena alimenticia (Prieto, J. et al., 2009).



Los ensayos de fitotoxicidad con semillas, son importantes para la determinación de algunos aspectos de la ecotoxicidad de metales pesados empleando bioensayos sencillos y prácticos para catalogar toxicológicamente muestras ambientales contaminadas y contribuye a tomar medidas para evaluar la perturbación de los ecosistemas y promover alternativas de biorremediación. (Iannacone, J. y Alvarino, L. 2005).

Algunos metales como el níquel pueden ser absorbidos y acumulados preferiblemente en las hojas y en las semillas. Otros metales como el cadmio y el zinc, se pueden absorber en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias, donde producen un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, y además la acumulación del metal. (Prieto J. et al., 2009). Concentraciones altas de Zn y de Ni afectan el crecimiento de las plantas, inhibiendo el crecimiento de la raíz primaria a bajas concentraciones y a concentraciones mayores afectando el desarrollo del follaje y la producción de raíces laterales. (Vargas L. et al., 2007. Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, UMSNH).

En concentraciones altas el cromo (VI) es tóxico para las plantas, provocando clorosis generalizada, semejante a la deficiencia de hierro. En un estudio realizado en México, las plantas de maíz crecidas con Cr (VI) que es más tóxico que el Cr (III) presentaron clorosis, disminución en la concentración de clorofila en un 84% y la muerte antes de terminar su ciclo fonológico a una concentración de 2 mM (González B. et al., 2010).

En suelos ricos en cobre, solo un número pequeño de plantas pueden vivir. La exposición de las raíces primarias de *Arabidopsis thaliana* (pequeña planta herbácea), a medios con cobre ocasionó una inhibición del crecimiento de manera proporcional al tiempo de exposición. La inhibición total del crecimiento de la raíz primaria se presentó a una concentración de 90 μ M (Martínez M. et al., 2009).



Los principales blancos de toxicidad de los metales son proteínas, muchas de ellas con actividad enzimática, afectando a diversos procesos bioquímicos y la integridad de las membranas celulares y de los organelos. Los efectos tóxicos de los metales se ejercen, salvo pocas excepciones, por interacciones entre el ion metálico libre y su blanco. La relación de toxicidad para algunos metales se ha correlacionado de manera directa con la fuerza para unirse a grupos -SH en condiciones *in vitro* (Vargas, L. et al., 2007).

2.8.1.2 Aniones en plantas

Algunos aniones como nitratos, sulfatos y fosfatos son macronutrientes esenciales para las plantas porque se necesitan en cantidades relativamente grandes (1% a 6% del peso seco, 1%= 1g/100g) para el normal desarrollo de las plantas. (Sierra A. et al., 2007). Sin éstas sustancias, el crecimiento de la planta se retarda. Sin embargo, demasiado fósforo o una abundancia de nitratos tienen un efecto negativo en plantas y animales (Teague, L. 2012).

En las plantas el exceso de nitratos y fosfatos puede dañar sus diferentes estructuras, apareciendo con aspecto de quemadura (Teague, L. 2012). En la planta de tomate el exceso de nitratos limita la producción de frutos, debido a que provoca la caída de las flores o la putrefacción al final de la floración, en algunos casos aumenta el follaje a expensas de la fruta (Urbauer K. 2012).

El cloruro es un micronutriente para las plantas, pero en concentraciones altas resulta perjudicial. Diversas especies de plantas, tales como hortalizas, frutas, nueces y cultivos de campo, son sensibles al cloruro. Altas concentraciones de cloruros en el suelo o en el agua de riego, darán como resultado una disminución del rendimiento y la calidad del cultivo. Cuando la concentración de cloruros en la solución del suelo aumenta, las plantas toman cloruro en vez de los nutrientes esenciales aniónicos, especialmente nitratos. Con exceso de Cloro en las plantas, las hojas son muy pequeñas, con un color muy tenue, que luego se vuelve amarillento, marrón y posteriormente empiezan a caer (Truly Nolen Ecuador 2013).



TABLA 1.- Tabla de resumen de los efectos adversos del exceso de diversos metales pesados y aniones en las plantas.

SUSTANCIA	EFEECTO POR EXCESO
Metales pesados (micronutrientes)	Se bioacumulan en las plantas, ingresando así a la cadena trófica. Fe, Ni, Co, Cd, Zn, Mn, limitan el crecimiento de la planta (1). Los principales blancos de toxicidad de los metales son proteínas, muchas con actividad enzimática, afectan a diversos procesos bioquímicos y la integridad de las membranas celulares y de los organelos (2).
Níquel (micronutriente)	Es absorbido y acumulado preferiblemente en las hojas y en las semillas (1). Afecta el crecimiento de las plantas, inhibiendo el crecimiento de la raíz primaria a bajas concentraciones y a concentraciones mayores afectando el desarrollo del follaje y la producción de raíces laterales (2).
Cadmio	Se absorbe en mayor grado en plantas como rábanos y zanahorias, produce un marchitamiento y disminución en la longitud de sus raíces y de la biomasa, y además la acumulación del metal (1).
Zinc (micronutriente)	Concentraciones altas afectan el crecimiento de las plantas, inhibiendo el crecimiento de la raíz primaria a bajas concentraciones y a concentraciones mayores afectando el desarrollo del follaje y la producción de raíces laterales. (2)
Hierro (Fe)	En plantas de arroz produce bronceado de las hojas y en la caña de azúcar produce moteado de las hojas (3).
Manganeso (Mn)	Clorosis marginal y necrosis de las hojas, arrugamiento foliar (algodón y soja) y manchas necróticas en hojas (cebada, lechuga, soja) (3).
Cromo	El cromo (VI) es tóxico, provoca clorosis generalizada, semejante a la deficiencia de hierro (4). En las plantas de maíz crecidas con Cr (VI)



	<p>presentaron clorosis, disminución en la concentración de clorofila en un 84% y la muerte antes de terminar su ciclo fonológico a una concentración de 2 mM (4).</p>
Cobre	<p>En suelos ricos en cobre, solo un número pequeño de plantas pueden vivir. Las raíces primarias de <i>Arabidopsis thaliana</i>, presentaron inhibición del crecimiento de manera proporcional al tiempo de exposición. La inhibición total se presentó a una concentración de 90 μM (5).</p>
Nitratos (macronutriente)	<p>Alteraciones de las estructuras de las plantas, como quemaduras.(6) En la planta de tomate, caen las flores o se pudren al final de la floración. Producción limitada de frutos (7).</p>
Sulfatos (macronutriente)	<p>La intoxicación por sulfato es muy similar a la que presenta el cloro, las hojas son muy pequeñas, con un color muy tenue, que luego se vuelve amarillento, marrón y posteriormente empiezan a caer (8).</p>
Cloro (micronutriente)	<p>Altas concentraciones de cloruros en el suelo o en el agua de riego, darán como resultado una disminución del rendimiento y la calidad del cultivo. Las plantas toman cloruro en vez de los nutrientes esenciales aniónicos, especialmente nitratos (4). Las hojas son muy pequeñas, con un color muy tenue, que luego se vuelve amarillento, marrón y posteriormente empiezan a caer (8).</p>

Se considera exceso: para los micronutrientes, cantidades superiores a 200 ppm y para los macronutrientes cantidades superiores al 6% del peso seco.

- (1) Prieto J. et al 2009
- (2) Vargas, L. et al., 2007
- (3) Hernández R. 2002
- (4) González B. et al., 2010).
- (5) Martínez M. et al., 2009).
- (6) Teague L. 2012
- (7) Urbauer K. 2012
- (8) Truly Nolen Ecuador 2013.



2.9 Los Bioensayos

En Ecotoxicología, un *bioensayo* o *prueba de toxicidad* es una técnica empleada para determinar si un residuo químico presente en el ambiente está en cantidades suficientemente altas para afectar adversamente algunos aspectos del espectro normal de actividades de animales y plantas. Los bioensayos en Ecotoxicología se realizan con el supuesto de que los organismos probados son “sucedáneos” o “claves” de organismos “superiores” presentes en su ambiente natural (Escalante, E. 2000). La Ecotoxicología está basada en el principio de que hay una relación directa entre la reacción tóxica (la respuesta) y la cantidad de sustancia recibida (la dosis). Un supuesto importante de esta relación es que existe una dosis a la cual no ocurre respuesta, el segundo supuesto es que una vez que la dosis máxima ha sido alcanzada cualquier incremento en ésta no resultará en un incremento del efecto (USEPA, 1998).

Las normas de regulación ambiental se basan en resultados obtenidos mediante bioensayos, los cuales, para considerarse válidos deben ser evaluados. Con la inclusión de especies adicionales en los bioensayos se ha visto la necesidad de desarrollar nuevos protocolos estandarizados. Cuando se aumenta el número de especies probadas en la valoración de la toxicidad de una sustancia, se es capaz de formar una idea de su mecanismo de acción, biodegradabilidad, toxicidad específica para cada órgano y efectos potenciales tanto agudos como crónicos (Escalante, E. 2000). Sabiendo que los estudios de ecotoxicidad se realizan usando los bioensayos, entonces se puede definir el papel de la Ecotoxicología en la valoración del riesgo ambiental.

Las plantas vasculares, como por ejemplo hortalizas, cereales y leguminosas, han sido recomendadas por la Agencia de Protección al Medioambiente (EPA) y por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA), debido a su buena sensibilidad, en comparación con semillas de otras especies de plantas terrestres. El ensayo ecotoxicológico con semillas de plantas vasculares presenta algunas ventajas sobre



otras especies terrestres, lo que permite usar cuantitativamente el crecimiento de la raíz (Wang, 1987).

El uso de cebolla (*Allium cepa* L., Liliaceae), beterraga (*Beta vulgaris* L., Chenopodiaceae), arroz (*Oriza sativa* L., Poaceae) y rabanito (*Raphanus sativus* L., Brassicaceae), lechuga (*Lactuca sativa*) tienen gran potencialidad para evaluar la toxicidad y el riesgo de sustancias químicas peligrosas en el ambiente (Iannacone y Alvariño, 2004).

2.9.1 Bioensayo de toxicidad aguda con Semillas

Es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición), en la cual se pueden evaluar los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento.

Como puntos finales para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determina la inhibición en la germinación y la inhibición en la elongación de la radícula y del hipocótilo. Durante el periodo de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos.

La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocótilo constituye indicadores representativos para determinar la capacidad de establecimiento y desarrollo de la planta. A diferencia de la prueba tradicional de germinación de semillas, la evaluación del efecto en la elongación de la radícula y del hipocótilo de las plántulas permite ponderar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocótilo.



La inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo constituyen indicadores subletales muy sensibles para la evaluación de efectos biológicos en vegetales, aportando información complementaria a la proporcionada al estudiar el efecto en la germinación (Sobrero M. y Ronco A. 2005).

2.10 Las semillas

De acuerdo a los conceptos básicos de la Botánica, la semilla es el principal órgano reproductivo de la gran mayoría de las plantas vasculares superiores, es el componente de una fruta que alberga el embrión y que puede permanecer en este estado durante un tiempo determinado, según la especie, y cuando encuentra las condiciones ambientales adecuadas, germinará para derivar en una nueva planta. Las semillas se forman en las plantas con flores llamadas angiospermas y también en las gimnospermas, en los dos casos la estructura de la semilla es semejante.

Las semillas desempeñan una función fundamental en la renovación, persistencia y dispersión de las poblaciones de plantas, la regeneración de los bosques y la sucesión ecológica.

La semilla consta de las siguientes partes:

- El tegumento.- es la cubierta o envoltura de la semilla, que protege y es durable.
- Los cotiledones.- es la porción donde se almacena la reserva alimenticia o endosperma.
- La plúmula.- es la zona donde se forman las primeras hojas verdaderas.
- La radícula.- es una estructura que sale de la plúmula y se convierte luego en raíz.
- El hipocótilo.- es el espacio entre la radícula y la plúmula. Se convierte luego en el tallo.

Las tres últimas partes forman el embrión, y en algunas especies también los cotiledones.

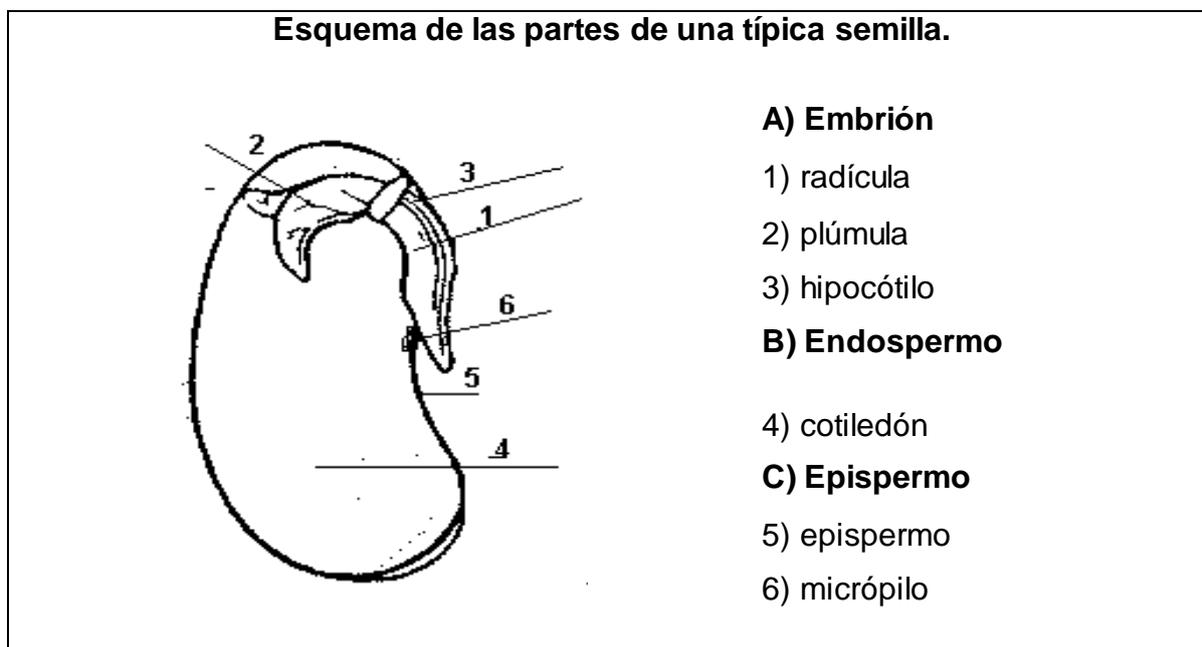


Figura. 1.- Esquema de las partes de una típica semilla.

<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0456-01/lasemilla.htm>

El Embrión es una pequeña planta en estado embrionario. Cuando las condiciones son favorables (adecuada: humedad, temperatura, oxígeno, y sustrato) se desarrolla dando lugar a una nueva planta. La radícula es la parte del embrión que emerge primero. Una vez fuera se convierte en una auténtica raíz, produciendo pelos absorbentes y raíces secundarias. El hipocótilo emerge luego de la radícula y posteriormente se convertirá en el tallo. Los cotiledones, adquieren la función de primeras hojas o de reserva alimenticia, y a veces ambas cosas. El micrópilo que es como un pequeño poro, a través del cual se había producido la entrada del tubo polínico en el óvulo y por donde se dirige la radícula en la germinación.

2.10.1 Proceso normal de la Germinación

Desde el punto de vista fisiológico, germinar es simplemente salir del reposo y entrar en actividad metabólica. La germinación es un proceso que tiene lugar en el



momento adecuado, luego de que las semillas pueden haber estado aletargadas durante largo tiempo, dependiendo del tipo de especie que se trate. En algunas especies la germinación debe producirse en un periodo relativamente corto de tiempo, o la semilla se pudre. En otros casos, la germinación puede esperar cientos de años. Cuando son satisfechas una serie de condiciones externas o ambientales e internas propias de la semilla, ocurrirá el crecimiento del embrión, el cual conducirá a la germinación

En este proceso, la semilla absorbe agua, se hincha, y la cubierta se rompe. Cuando la germinación empieza, la radícula sale en primer lugar, dirigiéndose hacia el micrópilo y perforando la testa. Se introduce en la tierra, produciendo las raíces. El hipocótilo se extiende y hace que la semilla emerja del suelo. Los cotiledones se abren. Por desarrollo de la plúmula, por encima de ellos, aparece el epicótilo y por debajo el hipocótilo, conformando el tallo. Los cotiledones se marchitan y nuevas hojas surgen en el tallo.

La absorción de agua por la semilla desencadena una serie de vías metabólicas, que incluyen la respiración, la síntesis de proteínas y la movilización de reservas, que conducen a la división y alargamiento celular que provoca la rotura de las cubiertas seminales con la emergencia de la radícula.

En ocasiones las semillas no germinan, debido a que las condiciones ambientales son adversas como por ejemplo temperatura inadecuada, falta de humedad o presencia de sustancias nocivas.

2.10.2 Fases de la Germinación

1. La hidratación, en la cual la semilla absorbe agua que llega a los distintos tejidos, lo que incrementa la actividad respiratoria.
2. La germinación, en la cual se producen los cambios metabólicos.
3. El crecimiento y en esta se produce la emergencia de la radícula. En esta fase se incrementa la absorción de agua y la actividad respiratoria.



La primera fase es independiente de la actividad metabólica de la semilla. En las semillas viables, su metabolismo se activa por la hidratación. La segunda fase constituye un período de metabolismo activo. La tercera fase se produce sólo en las semillas que germinan y se asocia a una fuerte actividad metabólica que comprende el inicio del crecimiento de la plántula y la movilización de las reservas. Los factores externos que activan el metabolismo, como la humedad, temperatura, oxígeno tienen un efecto estimulante en la última fase.

2.10.3 Factores que afectan a la germinación.

Se dividen en dos tipos:

1. Factores internos (intrínsecos): propios de la semilla, como la madurez y viabilidad.
2. Factores externos (extrínsecos): dependen del ambiente, como los sustratos, el agua, temperatura y gases.

Entre los factores ambientales más importantes que inciden en la germinación, destacamos: humedad, temperatura y gases.

Humedad.- para que la semilla recupere su metabolismo es necesaria la rehidratación de sus tejidos. La entrada de agua se debe a una diferencia de potencial hídrico entre la semilla y el medio que le rodea, que en condiciones normales es menor en las semillas secas que en el medio exterior. Hasta que emerge la radícula, el agua llega al embrión a través de las paredes celulares de la cubierta seminal, siempre a favor de un gradiente de potencial hídrico. Aunque es necesaria el agua para la rehidratación de las semillas, un exceso de la misma dificultaría la llegada de oxígeno al embrión, y por lo tanto sería desfavorable para la germinación. (Pérez, F. 1994)

La temperatura.- es un factor decisivo en el proceso de la germinación, ya que influye sobre las enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla después de la rehidratación. La actividad de cada enzima



tiene lugar entre un máximo y un mínimo de temperatura, existiendo un óptimo intermedio. Las semillas sólo germinan dentro de un cierto margen de temperatura. La temperatura óptima, puede definirse como la más adecuada para conseguir el mayor porcentaje de germinación en el menor tiempo posible.

Las temperaturas compatibles con la germinación varían mucho de unas especies a otras. Sus límites suelen ser muy estrechos en semillas de especies adaptadas a hábitats muy concretos, y más amplios en semillas de especies de amplia distribución. Para la mayoría de las hortalizas la temperatura óptima está entre 20 y 25°C. (Pérez, F. 1994)

Gases.- Las semillas requieren para su germinación una adecuada disponibilidad de oxígeno y dióxido de carbono, con los cuales obtiene energía para sus actividades metabólicas. La mayoría de las semillas germinan bien en atmósfera normal con 21% de oxígeno y un 0.03% de dióxido de carbono; si aumenta la concentración de éste último, las semillas no pueden germinar.

El O₂ disuelto en el agua de imbibición debe llegar al embrión; a veces algunos elementos que se adhieren a la cubierta seminal, como sustancias presentes en los sustratos pueden obstaculizar la germinación de la semilla porque reducen la difusión del O₂ desde el exterior hacia el embrión. (Pérez, F. 1994)



CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo de estudio y Diseño

Este trabajo corresponde a una investigación de tipo experimental y de diseño de campo.

3.2 Variables e Indicadores

3.2.1. Variables Independientes

- a) Cantidad de MPS recolectado en tres sitios de monitoreo de la zona urbana del cantón Cuenca. El indicador son los gramos recolectados en cada punto de monitoreo durante 30 días.
- b) Concentración de MPS en el aire. El indicador son los $\text{mg}/\text{cm}^2/30$ días, obtenidos por cálculo, con la técnica de análisis gravimétrico descrita en el TULASMA.
- c) Concentración de metales pesados y aniones en el material particulado sedimentable de la zona urbana del cantón Cuenca. El indicador es la concentración en porcentaje de metales y aniones en el MPS.
- d) Tipo de especie vegetal. El indicador son especies recomendadas por la EPA para los bioensayos, de las cuales se ha seleccionado: **1** *Lechuga (Lactuca sativa)*; **2** *Brócoli (Brassica oleracea italica)*; **3** *Cebolla (Allium cepa)*; **4** *Rábano (Raphanus sativus)*.
- e) Concentración de MPS en la suspensión acuosa. El indicador son los diferentes porcentajes de MPS en suspensión acuosa: 4%, 2%, 0,2%, 0,02%, 0,002%, 0,0002% y 0%, obtenidos por diluciones.



3.2.2. Variables Dependientes

- a) Germinación de las semillas de cada una de las especies en estudio. El indicador es en porcentaje de germinación.
- b) Crecimiento de radícula de las semillas de cada especie, en cada una de las concentraciones de MPS. El indicador es la longitud de la radícula en cm.
- c) Crecimiento del hipocótilo de las semillas de cada especie, en cada una de las concentraciones de MPS. El indicador es la longitud del hipocótilo en cm.

3.3 Población, muestra y forma de muestreo

Muestreo de las partículas en el aire de la Zona urbana del Cantón Cuenca

Se realizó el muestreo en tres sectores de la zona urbana del Cantón Cuenca, el primero por ser de alto tráfico vehicular, el segundo por estar ubicado en el centro histórico de la ciudad y el tercero por ser un lugar donde se encuentran las diferentes industrias, los tres lugares están distantes uno de otro; por lo cual son representativos de la zona urbana del Cantón Cuenca.

1. Av. Loja a pocos metros de la Av. Remigio Romero.
2. Centro histórico (Calles Hermano Miguel y Vega Muñoz).
3. Parque industrial.

Tiempo de muestreo de MPS

El tiempo de muestreo fue de 30 días continuos en cada punto de monitoreo seleccionado, en forma simultánea durante 1 mes, desde el 16 de febrero de 2013 al 17 de marzo del 2013.



En cada punto de muestreo se colocó 4 envases abiertos con una medida de 9.2 cm de radio interno superior, el área de captación del envase es de 265.9 cm², y una altura de 24.7 cm. Los envases para la recolección del MPS, se ubicaron a una altura aproximada de 3 metros sobre el nivel del suelo.

Traslado de las muestras al laboratorio:

Terminado el período de monitoreo, cada envase de recolección de MPS se transportó al laboratorio, protegido de la luz y cubiertos para evitar la pérdida de muestra.

Las muestras en el laboratorio se codificaron para los posteriores análisis.

Población para el bioensayo

La población en estudio constituye la cantidad de semillas adquiridas de cada especie: *Lechuga (Lactuca sativa)*, *Brócoli (Brassica oleracea itálica)*, *Cebolla (Allium cepa)* y *Rábano (Raphanus sativus)*.

Se adquirió 2 onzas de semillas de cada una de las especies en estudio, en la distribuidora COMSERVAGRO de semillas certificadas “BONANZA. SEEDS”. Product of USA, con las siguientes especificaciones en la etiqueta:

Purity: 99.90%

Germination: superior a 85%

Inerte: Inferior a 10%

Date of test: 12/2010

Exp. Date: 12/2014

Muestra para el bioensayo: del sobre de semillas, se tomaron 20 semillas por cada dilución, y se lo hizo por duplicado (40 semillas por cada dilución).



3.4 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información

Métodos de investigación empleados: Científico, Descriptivo, Analítico, Experimental.

Metodología: la presente investigación es experimental, y se aplicó el método inductivo.

Instrumentos:

1. Envase de recolección.- Envase de 18.4 cm de diámetro y con altura de 24.7 cm.
2. Equipo de Laboratorio necesario para el análisis, insumos, materiales de vidrio.
3. Registro de imágenes, registro de códigos para las semillas de las especies a utilizar, registro de medidas, controles y cálculos. Toda la información se archivará en digital para la tabulación de datos y análisis estadísticos respectivos.
4. Computadora.- para el almacenamiento de la información científica y experimental, tabulación de datos, análisis estadísticos y para la elaboración del informe final de la tesis.

Modelo Biológico:

Semillas de *Lactuca sativa* (lechuga), *Brassica Oleracea Itálica* (brócoli), *Allium Ceba* (cebolla) y *Brassica Raphanus Sativus* (rábano).

3.5 Técnicas de análisis instrumental.

3.5.1. Cálculo de la concentración de MPS

En cada una de las muestras recolectadas en los tres puntos de monitoreo, se realizó el cálculo de concentración de MPS por análisis gravimétrico, de acuerdo al



Método de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire, descritos en el libro VI, Anexo 4. Norma de calidad del aire ambiente. Tabla 2.

Las partículas colectadas se clasificaron en solubles e insolubles. Las partículas insolubles se determinaron por diferencia de peso ganado por un filtro de 47 mm (Quartz microfibre filters), y que retenga las partículas contenidas en el líquido de lavado del contenido del envase. En cambio las partículas solubles se determinaron mediante diferencia de peso ganado en una cápsula de porcelana, en la cual se evaporó el líquido de lavado del envase. La concentración total de partículas sedimentables es la suma de partículas solubles e insolubles, normalizadas con respecto al área total de captación del envase.

Según la norma citada, la máxima concentración de una muestra, colectada durante treinta días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ($1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$).

3.5.2. Análisis de Aniones

Para el análisis de concentración de aniones, se mezcló las muestras obtenidas de los tres puntos de monitoreo y se homogenizó para obtener resultados promedio; de ésta muestra se envió una parte, a los Laboratorios GRÜNTEC, en donde se analizó la concentración de Cloruros, Nitratos y Sulfatos, por método adaptado de referencia EPA 300.1.

El informe consta en el Anexo 2.

3.5.3. Determinación de Metales Pesados:

Para el análisis químico de metales pesados (Cu, Cd, Cr, Fe, Mn, Ni, Zn) se envió una parte de la muestra homogenizada de los tres puntos de monitoreo, al laboratorio del CESEMIN (Centro de Servicios y Análisis de Minerales de la Universidad de Cuenca), en donde se determinaron por el método: Analysis of



Metallic Air Pollutants. Analytical Methods. Perkin Elmer 1996. (Digestión ácida y lectura por absorción atómica).

El informe consta en el Anexo 1.

3.5.4. Preparación de las suspensiones acuosas del material particulado sedimentable.

Este procedimiento se realizó por la maestrante en los laboratorios del CEA. Para la preparación de las suspensiones acuosas del material particulado homogenizado de los tres puntos de monitoreo y recolección, se procedió a la preparación de una suspensión acuosa al 2% con agua desionizada y de esta se preparó 4 diluciones (0.2%, 0.02%, 0.002%, 0.0002%), y un control negativo (0%) con agua desionizada. Posteriormente se preparó una suspensión acuosa al 4%.

3.5.5. Bioensayo de fitotoxicidad aguda con semillas.

Se realizó con método adaptado por Sobrero M. (2005, 2010) de la Guía 850.4200 USEPA-OPPTS, en los laboratorios del CEA (Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca).

1. Es una prueba estática de toxicidad aguda en 120 horas de exposición.
2. Se evaluó los efectos fitotóxicos del MPS en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros cinco días de crecimiento (radícula e hipocótilo).
3. Para la evaluación de los efectos fitotóxicos, se determinó la inhibición en la germinación y la inhibición o estimulación en la elongación de la radícula y del hipocótilo.

Verificación de la viabilidad de las semillas.- previo a la implementación de la prueba, se verificó que cada lote de semillas tenga un porcentaje de germinación superior al 90%.



Siembra de las semillas

1. Se realizó en cajas de Petri, utilizando papel de filtro Whatman N° 3, como soporte y medio de imbibición.
2. El volumen de muestra para el ensayo fue de 5 ml por caja, empleando agua destilada en los controles negativos y como medio de dilución.
3. Por cada caja de Petri, y una vez embebido el papel de filtro, se colocaron 20 semillas, teniendo en cuenta de dejar espacio suficiente entre las semillas para permitir la elongación de las raíces.
4. Transcurridas las 120 horas se hizo las mediciones y observaciones de las plántulas, registrando todos los datos, para el análisis estadístico.

Condiciones del bioensayo

1. Las cajas se taparon para evitar la pérdida de humedad.
2. Las cajas de Petri se cubriern de la luz inmediatamente después de iniciada la imbibición y durante el periodo de ensayo para facilitar la germinación.
3. Se incubó por un periodo de 120 h a 22 ± 2 °C.
4. Se realizó una réplica para cada dilución ensayada.

Mediciones efectuadas

1. Se registró el número de semillas que germinaron normalmente, respecto del total de semillas colocadas al inicio del ensayo, considerando como criterio de germinación la aparición visible de la radícula.
2. Utilizando una regla se midió cuidadosamente la longitud de la radícula y del hipocótilo de cada una de las plántulas correspondientes a los controles y a cada concentración de MPS. La medida de elongación de la radícula se considera desde el nudo (región más engrosada de transición entre la radícula y el hipocótilo) hasta el ápice radicular. La medida de elongación del hipocótilo se considera desde el nudo hasta la inserción de los cotiledones.
Algunas fotografías del bioensayo constan en el Anexo 4.



3.6 Técnica de análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó tablas, gráficos, análisis de medias, análisis de varianza ANOVA, porcentajes de germinación, porcentajes de estimulación e inhibición de elongación de raíz e hipocótilo.

Se utilizó el programa estadístico SPSS versión 19, y el programa Microsoft Excel 2010.



CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1 Concentración de MPS

La Tabla 2, muestra las concentraciones de MPS obtenidas en los tres puntos de monitoreo.

TABLA 2.- Concentraciones de MPS ($\text{mg}/\text{cm}^2 \times 30 \text{ d}$), obtenidas en los tres puntos de monitoreo en las diferentes zonas de la ciudad de Cuenca.

CÓDIGO DE ZONA	DIRECCIÓN	CONCENTRACIÓN DE MPS ($\text{mg}/\text{cm}^2 \times 30 \text{ d}$)
1	Av. Loja y Remigio Tamariz	1,11
2	Calles Hno. Miguel y Vega Muñoz	0,56
3	Parque Industrial	1,2

4.2 Aniones

En la Tabla 3, se puede ver los resultados obtenidos en la determinación de los aniones en el MPS recolectado.

TABLA 3.- Concentración (mg/Kg) de los aniones: Cloruro, Nitrato y Sulfato en el MPS.

ANIÓN	CONCENTRACIÓN (mg/Kg)
Cloruro	665
Nitrato	menor a 4
Sulfato	6311



4.3 Metales Pesados

En la Tabla 4.- se puede ver los resultados obtenidos en la determinación de los metales pesados en el MPS recolectado.

TABLA 4.- Valores obtenidos de los metales pesados: Cobre, Cadmio, Cromo, Hierro, Manganeso, Níquel y Zinc en la muestra de MPS.

Cu µg*	Cd µg*	Cr µg*	Fe mg*	Mn µg*	Ni µg*	Zn µg*
72	NC	114,17	19,9	413,33	97,67	726,67

µg* = microgramos.

mg*= miligramos.

N.C. = No cuantificado (límite de cuantificación de Cd de acuerdo al método 4 µg)

El peso de la muestra analizada fue de 0.763 g; por lo que se obtuvo las concentraciones que constan en la Tabla 5.

TABLA 5.- Concentraciones (ppm) obtenidas de los metales pesados: Cobre, Cadmio, Cromo, Hierro, Manganeso, Níquel y Zinc en la muestra de MPS.

Cu ppm	Cd ug*	Cr ppm	Fe ppm	Mn ppm	Ni ppm	Zn ppm
94,36	NC	149,63	26.081,25	541,71	128,00	952,38



4.4 Análisis Estadístico de los datos obtenidos en el bioensayo

4.4.1 Porcentaje de germinación

En la Tabla 6, se observan los resultados obtenidos en cuanto al porcentaje de germinación de las semillas de las cuatro especies, en las diferentes concentraciones. La prueba se realizó por duplicado, por tanto constan los resultados de ambas pruebas.

TABLA 6.- Porcentajes de germinación de las semillas de las cuatro especies, en las diferentes concentraciones de MPS, en la prueba 1 y prueba 2.

CONCENTRACIÓN (%)	% DE GERMINACION							
	LECHUGA		BRÓCOLI		CEBOLLA		RÁBANO	
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
0	100	95	95	100	90	85	100	95
0,0002	95	95	95	95	45	45	100	100
0,002	100	90	90	95	50	40	100	100
0,02	100	90	90	100	40	45	100	100
0,2	100	95	90	95	40	40	100	100
2	100	100	95	95	45	55	100	100
4	100		95		50		95	

4.4.2 Datos Descriptivos y Análisis Anova de los valores obtenidos de crecimiento de raíz e hipocótilo por cada especie.

Constan en el Anexo 3.



4.4.3 Gráficos estadísticos de las medias de elongación de raíz e hipocótilo.

4.4.3.1 Lechuga

La Figura 2, muestra el gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo en las semillas de lechuga, de la prueba 1 y de la prueba 2. Se observa las cuatro curvas respectivas; en las curvas de la prueba 1, constan 7 concentraciones de MPS, y en las curvas de la prueba 2, constan 6 concentraciones.

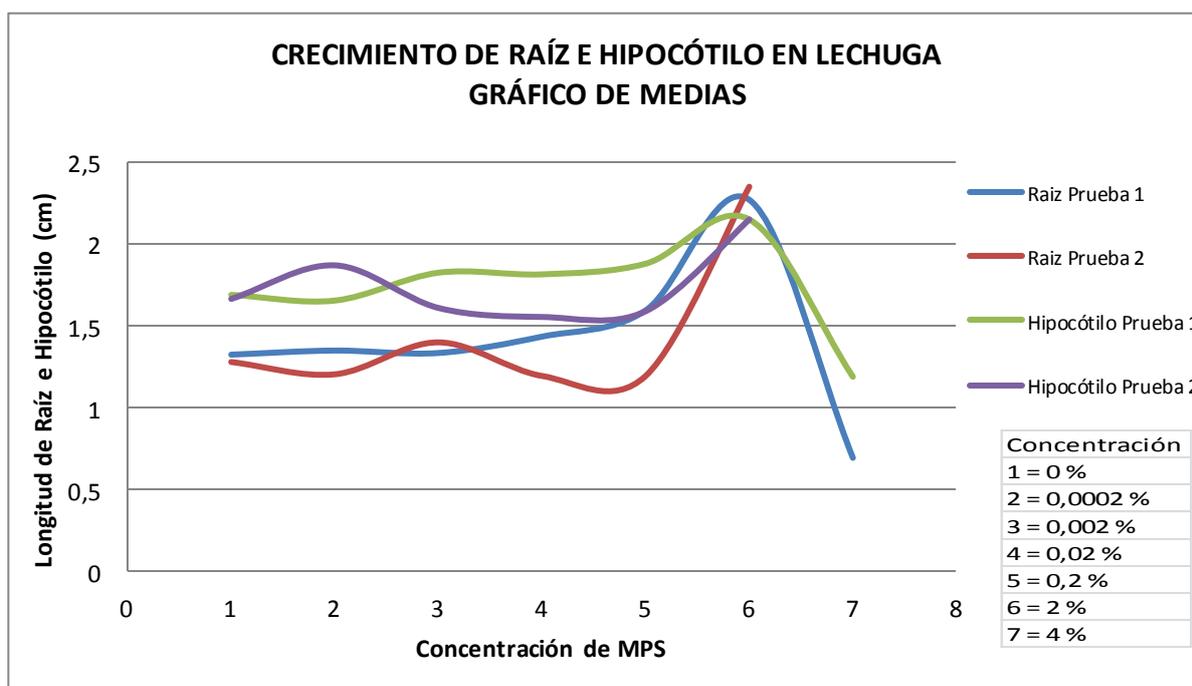


Figura 2.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de lechuga, de la prueba 1 y de la prueba 2.



4.4.3.2 Brócoli

La Figura 3, muestra el gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo en las semillas de Brócoli, de la prueba 1 y de la prueba 2. Se observa las cuatro curvas respectivas; en las curvas de la prueba 1, constan 7 concentraciones de MPS, y en las curvas de la prueba 2, constan 6 concentraciones.

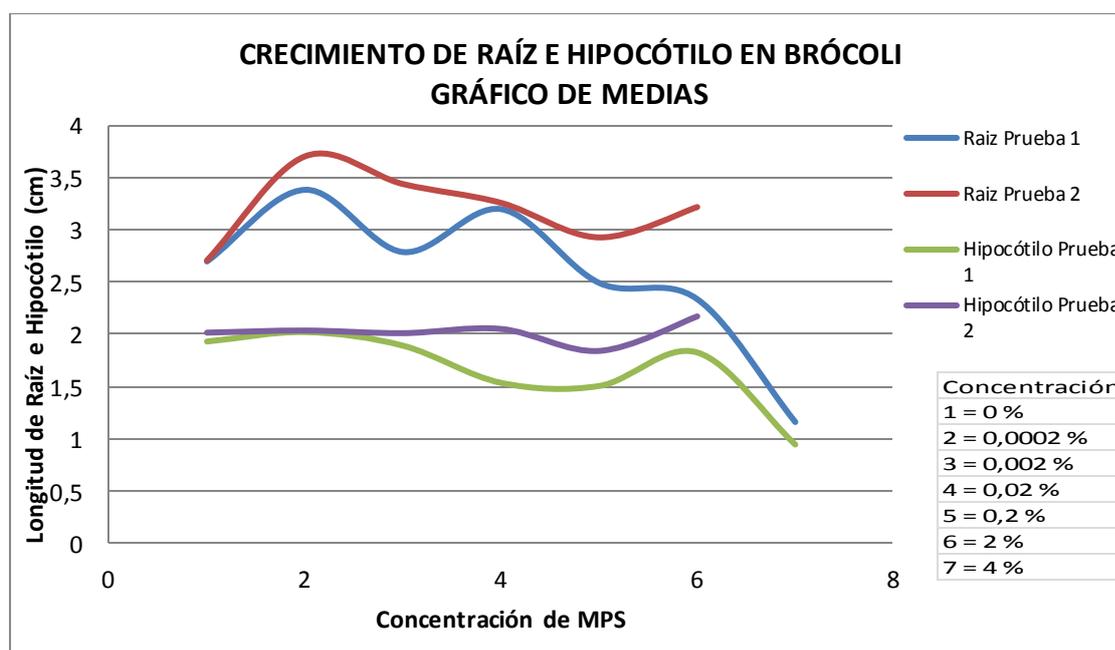


Figura 3.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de Brócoli, de la prueba 1 y de la prueba 2.

4.4.3.3. Cebolla

La Figura 4, muestra el gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo en las semillas de Cebolla, de la prueba 1 y de la prueba 2. Se observa las cuatro curvas respectivas; en las curvas de la prueba 1, constan 7 concentraciones de MPS, y en las curvas de la prueba 2, constan 6 concentraciones.

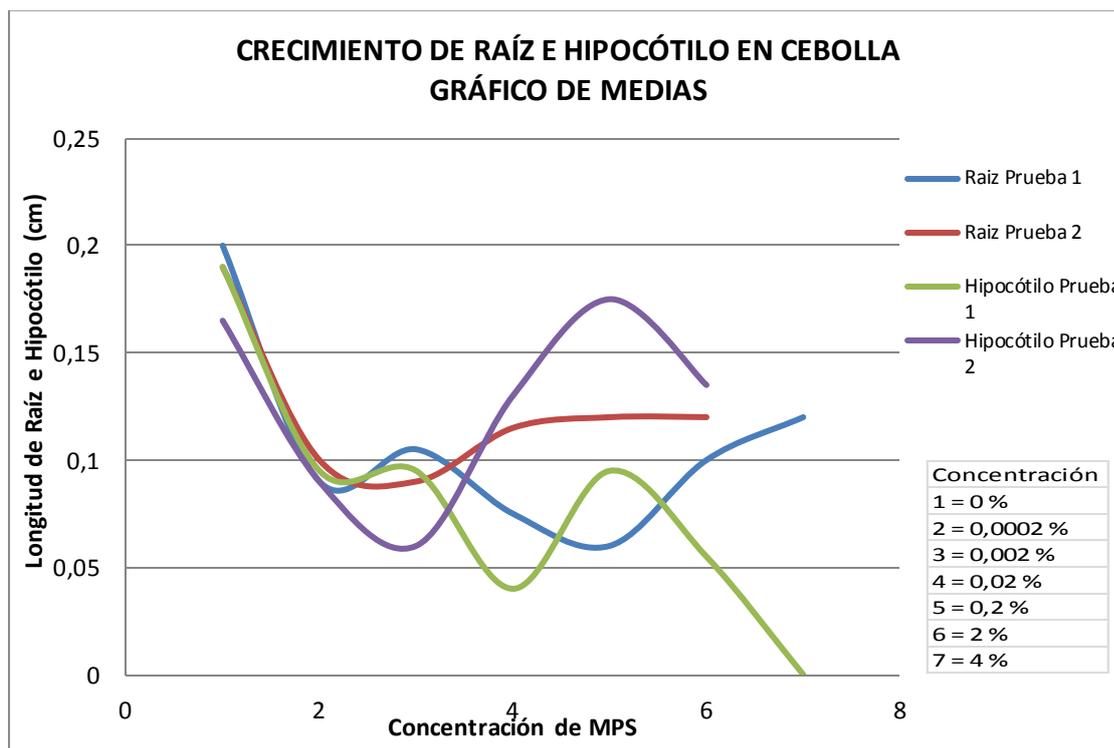


Figura 4.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de Cebolla, de la prueba 1 y de la prueba 2.

4.4.3.4. Rábano

La Figura 5, muestra el gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo en las semillas de Rábano, de la prueba 1 y de la prueba 2. Se observa las cuatro curvas respectivas; en las curvas de la prueba 1, constan 7 concentraciones de MPS, y en las curvas de la prueba 2, constan 6 concentraciones.

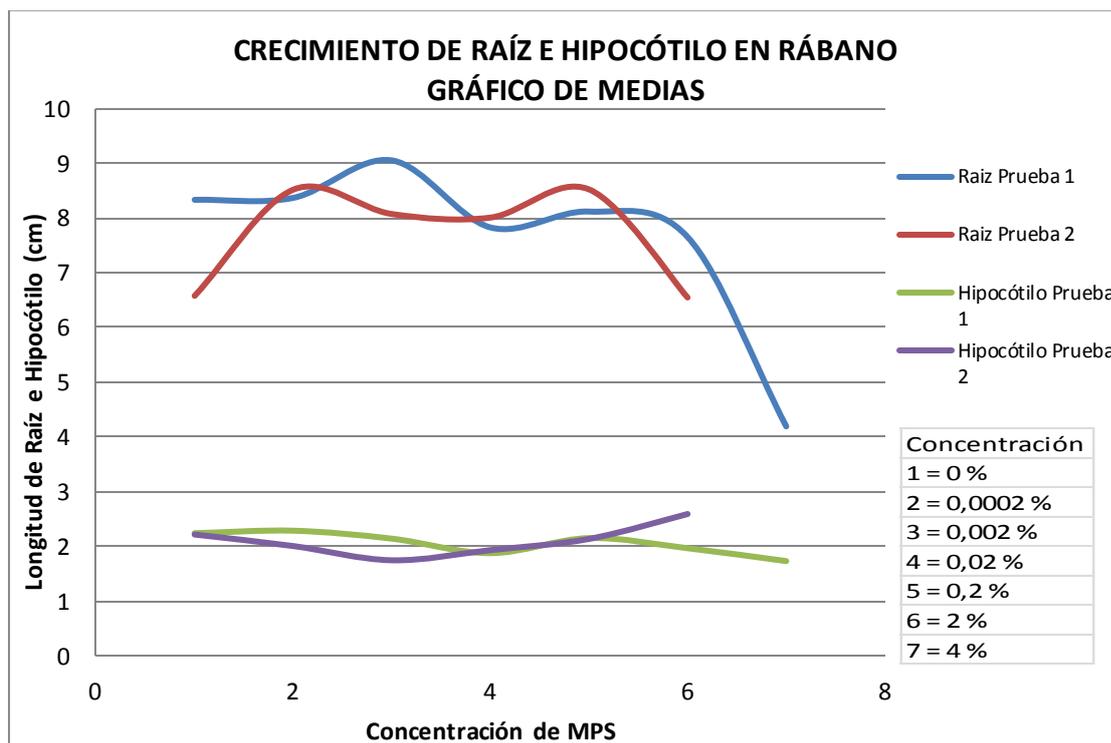


Figura 5.- Gráfico de medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) en las semillas de Rábano, de la prueba 1 y de la prueba 2.

4.4.3.5. Datos estadísticos de medias de raíz e hipocótilo de las cuatro especies

En la Tabla 7, se observa los valores Media entre los de la prueba 1 y la prueba 2, de la elongación de raíz e hipocótilo de las cuatro especies, con las que se realizó el bioensayo.

TABLA 7.- Medias de la elongación de raíz e hipocótilo (cm) de las cuatro especies, en las diferentes concentraciones de MPS.

CONCENTRACIÓN MPS (%)	LECHUGA		BRÓCOLI		CEBOLLA		RÁBANO	
	Raíz (cm)	Hipocótilo (cm)	Raíz (cm)	Hipocótilo (cm)	Raíz (cm)	Hipocótilo (cm)	Raíz (cm)	Hipoc. (cm)
0	1,2975	1,6725	2,7	1,9725	0,195	0,1775	7,4525	2,2275
0,0002	1,2725	1,7575	3,54	2,0275	0,095	0,0925	8,44	2,145
0,002	1,3625	1,7125	3,11	1,95	0,0975	0,0775	8,56	1,9425
0,02	1,31	1,68	3,225	1,7925	0,095	0,085	7,915	1,9025
0,2	1,39	1,73	2,7075	1,6725	0,09	0,135	8,3175	2,1425
2	2,305	2,145	2,775	1,9975	0,11	0,095	7,0975	2,2775
4	0,69	1,185	1,16	0,945	0,12	0	4,19	1,73



4.4.3.6 Gráficos de medias de la raíz de las cuatro especies

La Figura 6, muestra el gráfico de Medias de la elongación de raíz en las semillas de las cuatro especies: lechuga, brócoli, cebolla y rábano. Las Medias se obtuvieron entre la prueba 1 y la prueba 2. Se observa las cuatro curvas respectivas.

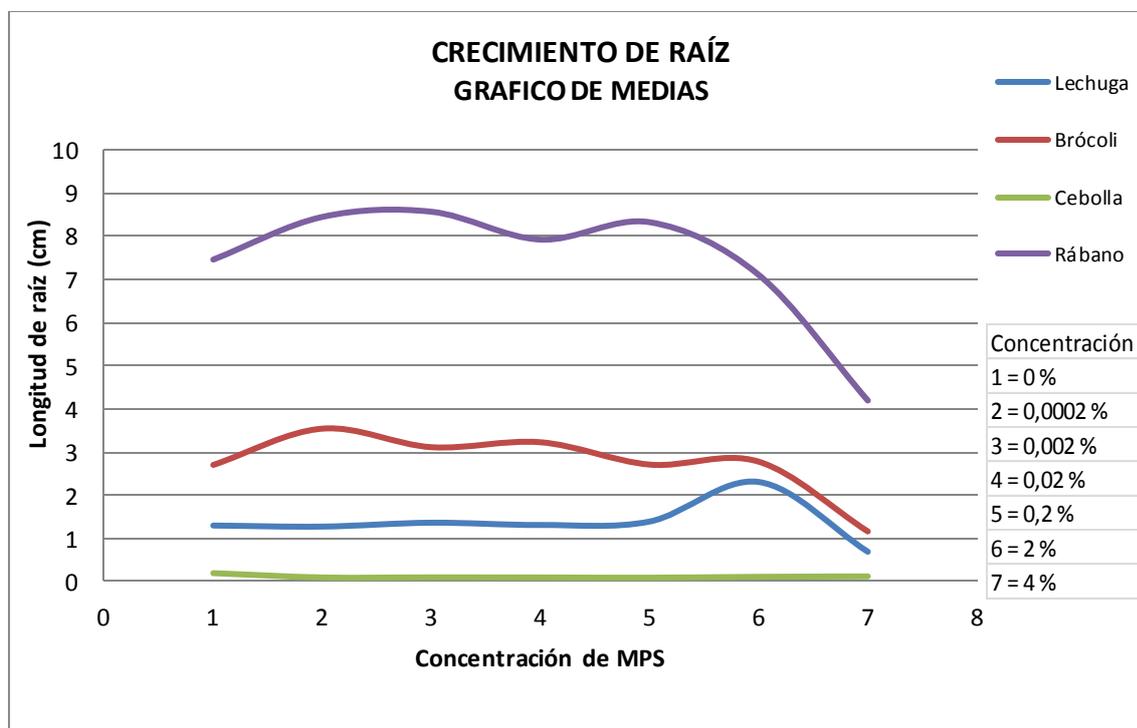


Figura 6.- Gráfico de medias de la elongación de raíz (cm), en las semillas de las cuatro especies: lechuga, brócoli, cebolla y rábano.

4.4.3.7 Gráficos de medias del hipocótilo de las cuatro especies

La Figura 7, muestra el gráfico de Medias de la elongación de hipocótilo en las semillas de las cuatro especies: lechuga, brócoli, cebolla y rábano. Las Medias se obtuvieron entre la prueba 1 y la prueba 2. Se observa las cuatro curvas respectivas.

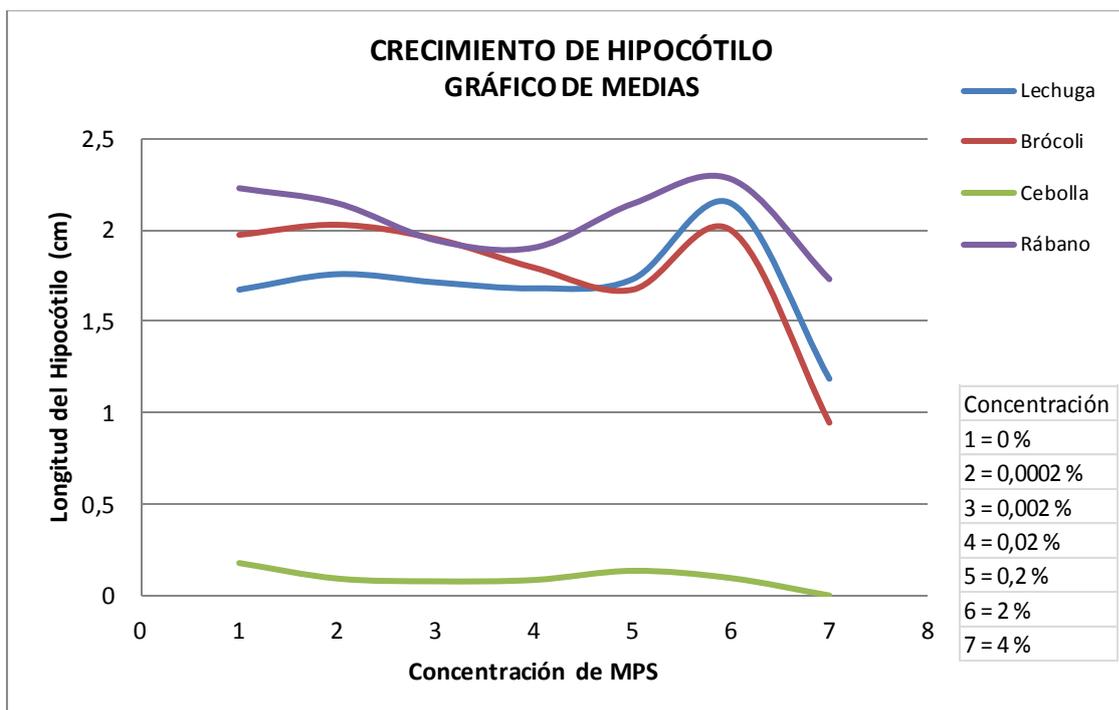


Figura 7.- Gráfico de medias de la elongación de hipocótilo (cm), en las semillas de las cuatro especies: lechuga, brócoli, cebolla y rábano.



CAPITULO V: DISCUSIÓN

El MPS está constituido por partículas de diferentes tamaños y composición química, dispersas en un medio gaseoso como es la atmósfera, y es generado por un amplio rango de fuentes de emisión tanto naturales como antropogénicas, entre estas últimas es importante la cantidad emitida por las fuentes de combustión estacionarias y móviles entre ellas, fábricas y vehículos motorizados.

El MPS es un contaminante que tiene un efecto perjudicial en la salud de las personas y de los demás seres vivos (OMS). Investigaciones realizadas en varios centros urbanos en diferentes partes del mundo revelaron que el nivel de gravedad de los desórdenes en la salud está directamente relacionado con la concentración de partículas en el aire ambiente (Venegas L. 2004).

Por esta razón, en la presente investigación, se realizó el monitoreo y recolección de muestra de MPS, en tres puntos de la zona urbana del cantón Cuenca, con la finalidad de determinar su concentración en el aire ambiente, la concentración en cuanto a algunos de sus componentes como los metales pesados, que son sustancias de reconocida toxicidad y la concentración de aniones. Luego de lo cual se realizó un Bioensayo para determinar la fitotoxicidad del MPS, utilizando semillas de cuatro especies: *Lactuca sativa* (lechuga), *Brassica oleracea itálica* (brócoli), *Allium cepa* (cebolla) y *Brassica raphanus sativus* (rábano).

5.1 Concentración de MPS

Las pruebas por análisis gravimétrico de MPS, en cada una de las zonas de monitoreo durante los treinta días desde el 16 de febrero hasta el 17 de marzo de 2013, que se muestran en la Tabla 2, fueron realizadas para determinar su concentración en el aire ambiente. De los resultados obtenidos se observa que en la



zona 1 (Av. Loja y Remigio Tamariz), la concentración, es de $1,11 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ y en la zona 3 (Parque industrial) es de $1,2 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$, estas dos concentraciones son superiores a lo que determina la norma ecuatoriana mediante su legislación en el TULASMA, cuyo valor límite es de $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$; en la zona 2 (Calles Hno. Miguel y Vega Muñoz) la concentración obtenida es de $0,56 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$, que es un valor que está por debajo del valor máximo especificado en ésta normativa. En cuanto a la normativa de la OMS que es de $0,5 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$, la concentración en los tres puntos de monitoreo supera el valor máximo permitido. Se evidencia además que los niveles de MPS son mayores en las zonas periféricas de la ciudad.

5.2 Análisis de aniones

Los análisis realizados en la muestra de MPS para determinar la concentración de aniones, dan valores que se detallaron en la Tabla 3. Para el Cloruro se encontró el valor de 665 mg/Kg , para el Nitrato fue menor a 4 mg/Kg y para el Sulfato fue de 6311 mg/Kg , en este último caso se trata de un valor mucho mayor que los dos primeros.

En el caso de los aniones no es posible comparar con la normativa, pues no existen valores referenciales sobre los mismos, ni en la normativa ecuatoriana ni en la normativa de la OMS.

Cabe anotar que los nitratos al igual que los sulfatos, son contaminantes secundarios y provienen de la reacción de precursores gaseosos naturales y antropogénicos. (Mészáros, 1993). Por tanto estos valores estarían indicando altos niveles de SO_x y NO_x en el aire que se respira en la ciudad, y la posibilidad de generación de lluvia ácida.

Los cloruros, proceden en gran medida del aerosol marino y también de fuentes antropogénicas.



No se encontró un estudio en el que se determine aniones en MPS, en condiciones similares a las de la presente investigación.

En el estudio realizado por Ribera A. y Canto J. (2012) en el Centro de Estudios Científicos, para la Compañía Minera Nevada del Proyecto Pascua Lama, en los análisis de MPS determina la concentración de aniones, para Cloruros con un rango entre 0,47 a 5,8 mg/L; para Sulfatos un rango entre 0,37 a 169,79 mg/L; y para Nitratos un rango entre 0,34 a 10,6 mg/L. En el estudio mencionado, realizado en Chile, el análisis fue de los aniones solubles; en cambio en el presente estudio se realizó en toda la muestra, por lo que los valores son mucho más altos para Cloruros y Sulfatos, además es necesario recalcar que el estudio referenciado es llevado a cabo en una zona minera.

Otro estudio donde se determina aniones es el realizado por Díaz V. et al (2006), en Quito, en que se hace una caracterización química en PM₁₀, encontrando los siguientes valores: sulfatos el 13% del total del material particulado, los nitratos el 6% y cloruros el 0,25% en el Distrito Metropolitano de Quito y señala que el alto contenido de azufre de los combustibles, provoca altas emisiones de azufre y material particulado. Los sulfatos son derivados de compuestos de sulfuros del combustible y en una cantidad menor del aceite lubricante.

En cambio los resultados obtenidos en el presente estudio son en MPS y son valores mucho menores: Sulfatos 0,6311%, Nitratos 0,0004% y Cloruros 0,0665%.

5.3 Determinación de Metales Pesados

Los análisis para la determinación de metales pesados en el MPS recolectado de los tres puntos de monitoreo dieron los valores que se observan en la Tabla 5: para el Cobre de 94,36 ppm., para el Cadmio según la técnica empleada es No cuantificado



(límite de cuantificación de Cd de acuerdo al método 4 μg), para el Cromo es de 149,63 ppm., para el Fe es de 26.081,25 ppm., para el Manganeso es de 541,71 ppm., para el Níquel es de 128 ppm y para el Zn es de 952,38 ppm.

No se puede establecer una comparación con valores referenciales, debido a que la Normativa ecuatoriana, no establece valores referenciales para aire ambiente, y la Normativa de la OMS y la ASTDR, no los tiene para MPS, sino únicamente para el Material particulado de tamaño menor como el PM10, y estos valores están dados en ng/m^3 .

Jachero, L. (2009), en su estudio realizado sobre material particulado en Cuenca, concluye que el MPS tiene entre 1 y 2 % en peso, de metales pesados; mientras que, en la presente investigación, se determinó que existe un 2,8 % de metales pesados en MPS recolectado en los tres puntos de monitoreo. Cabe aclarar que en el estudio antes mencionado, se monitorearon 9 puntos de la ciudad, pudiendo ser esta la razón de la diferencia que se observa con el resultado de la presente investigación. Por otro lado, los valores encontrados actualmente podrían ser un indicador de que la contaminación ha variado en su composición en estos últimos años.

5.4 Análisis Estadístico de los datos obtenidos en el bioensayo

5.4.1 Porcentaje de germinación

El cálculo de los porcentajes de germinación que se produjeron durante el bioensayo en las diferentes concentraciones de MPS, se realizó con la finalidad de comprobar si el MPS puede alterar los procesos de la germinación de semillas.



De acuerdo a los datos obtenidos que constan en la Tabla 6, se puede ver que en las tres especies: *lechuga*, *brócoli* y *rábano*, no hay interferencia en dichos procesos, ya que los porcentajes de germinación están de acuerdo a las especificaciones del productor de las semillas (superior al 85%) y son constantes en todas las pruebas con las distintas concentraciones de MPS; éste resultado coincide con lo que consta en la revisión bibliográfica, sobre la prueba tradicional de germinación de semillas, en la que compuestos tóxicos presentes en niveles de concentración bajos no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocótilo (Sobrero M. y Ronco A. 2005).

No ocurre lo mismo en el caso de la *cebolla*, pues se observa una importante inhibición en el porcentaje de germinación, en un promedio del 55%. Esto haría pensar que la *cebolla* es una especie más vulnerable a la presencia de este tipo de elementos tóxicos. Una concentración de 0.0002% de MPS es suficiente para que el % de germinación disminuya al 45%. En el estudio realizado por Ianncone y Alvariño (2005), hace una comparación del efecto fitotóxico del Cromo VI (que es uno de los componentes del MPS) en cuatro especies (*cebolla*, *remolacha*, *arroz* y *rabanito*), en el cual la *cebolla* presenta una sensibilidad intermedia, con respecto a las otras especies.

5.4.2 Gráficos estadísticos de las medias de elongación de raíz e hipocótilo.

5.4.3.1 Lechuga

La Figura 2 pone de manifiesto que la concentración de MPS influye en el crecimiento tanto de la raíz como del hipocótilo de la *lechuga*. Se observa cierta semejanza en la tendencia de las curvas de la prueba 1 y 2 tanto para la raíz como para el hipocótilo. Llama la atención la estimulación del crecimiento de raíz e



hipocótilo, que se produjo en una concentración del 2%; en vista de que las pruebas se hicieron por duplicado, se descarta la posibilidad de que se trate de un error experimental. Sin embargo, a mayores concentraciones (4%) se produjo la inhibición del crecimiento, como lo muestra la figura referida.

Este resultado puede tener explicación porque algunos componentes del MPS, como los nitratos, sulfatos y algunos metales, son nutrientes esenciales para el normal desarrollo de las plantas como lo manifiesta Sierra A. et al. (2007) y se detalla en el numeral 5.4.3.7 donde se analiza el resultado para las cuatro especies. Sin embargo cuando se encuentran en los ecosistemas en altas concentraciones pueden afectar la viabilidad y las funciones celulares. (Vargas L. et al., 2007).

El porcentaje de estimulación de crecimiento en la concentración al 2%, con respecto al blanco o control, para raíz es del 77,65%, y para el hipocótilo es del 28,25%. El porcentaje de inhibición del crecimiento en la concentración al 4% con respecto al control, para raíz es del 46,82% y de hipocótilo es de 29,15%.

Tomando como base los tres niveles de Fitotoxicidad considerados en el estudio de Varnero M. et al., (2007), sobre Indices de Fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje, que utiliza lo establecido por Zucconi et al., (1981); en el presente estudio se clasifica la fitotoxicidad de acuerdo al porcentaje medio de inhibición de la elongación de raíz e hipocótilo, en: severa (inhibición $\geq 50\%$), moderada (inhibición de 20% a 49%), y baja o nula (inhibición $\leq 20\%$).

De acuerdo a esta clasificación, el nivel de la fitotoxicidad del MPS en una concentración al 4% en el bioensayo con *lechuga* es moderada.



5.4.3.2 Brócoli

Analizando los resultados de la Figura 3, con las 4 curvas de relación entre el crecimiento de la raíz e hipocótilo en las semillas de *brócoli*, prueba 1 y 2, se ve que al igual que en el caso de la *lechuga*, la concentración de MPS tiene influencia en el crecimiento tanto de la raíz como del hipocótilo; además hay semejanza entre las curvas de la prueba 1 y 2. En la prueba en la que se utiliza las concentraciones más bajas (0.0002%) se produjo una estimulación del crecimiento de la raíz, pero con la concentración al 4%, se dio la inhibición de la elongación de raíz; en el caso del hipocótilo, la tendencia de la curva es en el sentido de inhibición, con una muy ligera estimulación de crecimiento en la concentración al 0,0002%. La explicación es la misma dada para la *lechuga*, debido a la presencia de sustancias que a dosis pequeñas son necesarias, pero que se vuelven tóxicas a dosis mayores.

El porcentaje de estimulación de crecimiento en la concentración al 0,0002% para raíz es del 31,11% y para el hipocótilo es del 2,78% con respecto al control o blanco. El porcentaje de inhibición del crecimiento en la concentración al 4% para raíz es del 57,04% y de hipocótilo es de 52,05% con respecto al blanco.

De acuerdo a la clasificación mencionada en párrafos anteriores, la fitotoxicidad del MPS en una concentración al 4% en el bioensayo con *brócoli* es severa.

5.4.3.3. Cebolla

Del análisis de la Figura 4, que hace referencia a los resultados en la *cebolla*, se ve que la concentración de MPS influye en el crecimiento tanto de la raíz como del hipocótilo; además hay cierta semejanza entre las curvas de la prueba 1 y 2. A medida que se incrementa la concentración de MPS, se ve que la elongación disminuye, y luego se verifica variabilidad en el crecimiento tanto de raíz como de hipocótilo, entendiéndose esto como prueba de fitotoxicidad del MPS. El efecto inhibitorio del MPS es mayor sobre la *cebolla* que para las otras tres especies, la explicación podría ser que los requerimientos nutricionales de la *cebolla* son



diferentes que de las otras especies, o que es más sensible a alguno de los tóxicos presente en el MPS.

El porcentaje de inhibición del crecimiento en la concentración al 4% para raíz es del 38,47% y de hipocótilo es de 100% con respecto al blanco.

Por lo que la fitotoxicidad del MPS en una concentración al 4% en el bioensayo con *cebolla* es severa.

5.4.3.4. Rábano

Del análisis de la Figura 5, en la que constan las 4 curvas de relación entre el crecimiento de la raíz e hipocótilo en las semillas de *rábano* tanto de la prueba 1 y de la prueba 2, se ve que la concentración de MPS influye en el crecimiento tanto de la raíz como del hipocótilo; en el caso de la raíz se observa un mayor rango de variación de acuerdo al incremento de la concentración, en las dos primeras concentraciones (0.0002%-0.002%) se observa una estimulación, pero luego a mayor concentración se inhibe significativamente el crecimiento de raíz. En el caso del hipocótilo, la tendencia es de inhibición moderada del crecimiento, con ligeras variaciones intermedias. La explicación a este fenómeno es la misma que para las otras especies, dada por Sierra et al (2007) y Teague L. (2012).

El porcentaje de estimulación de crecimiento en la concentración al 0,0002% para raíz es del 13,25%, y para 0,002% es del 14,86% con respecto al blanco. El porcentaje de inhibición del crecimiento en la concentración al 4% para raíz es del 47,78% y de hipocótilo es de 22,34% con respecto al blanco.

Por lo que la fitotoxicidad del MPS en una concentración al 4% en el bioensayo con *rábano* es moderada.



5.4.3.5. Datos estadísticos de medias de raíz e hipocótilo de las cuatro especies.

De los resultados se observó que las curvas de las pruebas 1 y 2 en casi todos los casos son bastante similares, por lo que se procedió a obtener una media matemática de todos los casos y con estos datos de valores promedio entre las dos pruebas se realizó: una tabla que resume todos los valores (media matemática) en las cuatro especies tanto para raíz como hipocótilo (Tabla 7); un gráfico para la elongación de la raíz de las cuatro especies (Figura 6), y un gráfico para la elongación promedio del hipocótilo en las 4 especies (Figura 7), lo que permitió la comparación del fenómeno en las 4 especies, en raíz y en hipocótilo en cuanto a la toxicidad del MPS y la vulnerabilidad de cada especie.

5.4.3.6 Gráficos de medias de la raíz de las cuatro especies

En el gráfico de Medias (Figura 6) de la elongación de raíz en las semillas de las cuatro especies, *lechuga*, *brócoli*, *cebolla* y *rábano*, se observa la influencia de la concentración de MPS, sobre la elongación de raíz: con concentraciones muy bajas en *lechuga*, *rábano* y *brócoli* se da una estimulación, sin embargo cuando se incrementa la concentración, llegando al 4% se evidencia la inhibición. En el *rábano* se puede ver que concentraciones mayores al 0.2% generan una drástica inhibición, mayor a la presentada en las otras especies en esa concentración. En el caso de la *cebolla*, como ya se mencionó en párrafos anteriores se inhibe la germinación en un 55%, y en las semillas que germinan se da una inhibición del crecimiento de raíz e hipocótilo.

5.4.3.7 Gráficos de medias del hipocótilo de las cuatro especies

En el gráfico de Medias (Figura 7) de la elongación de hipocótilo en las semillas de las cuatro especies: *lechuga*, *brócoli*, *cebolla* y *rábano*, se observa en todas ellas, la influencia de la concentración de MPS, sobre la elongación hipocótilo, a medida que se incrementa la concentración en *lechuga*, *brócoli* y *rábano*, se evidencia la



inhibición. Llama la atención, la semejanza de las curvas en las tres especies, que presentan una recuperación de crecimiento en la concentración de 2%. En el caso de la *cebolla*, además de inhibirse la germinación, también se da una inhibición del crecimiento de hipocótilo.

Lo analizado sobre la inhibición de la elongación de raíz e hipocótilo, se puede explicar porque durante el periodo de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos en los que la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, siendo por lo tanto una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos. (Sobrero M. y Ronco A. 2005).

La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocótilo constituye indicadores representativos para determinar la capacidad de establecimiento y desarrollo de la planta. A diferencia de la prueba tradicional de germinación de semillas, la evaluación del efecto en la elongación de la radícula y del hipocótilo de las plántulas permite ponderar el efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación de la radícula o del hipocótilo. La inhibición en la elongación de la radícula e hipocótilo constituyen indicadores subletales muy sensibles para la evaluación de efectos biológicos en vegetales, aportando información complementaria a la proporcionada al estudiar el efecto en la germinación (Sobrero M. y Ronco A. 2005).

La estimulación en el crecimiento de la raíz e hipocótilo que se observó en algunos casos a concentraciones muy bajas, se puede explicar porque algunos componentes encontrados en MPS, como nitratos y sulfatos son macronutrientes esenciales para el normal desarrollo de las plantas (Sierra A. et al 2007). Sin embargo, demasiado fósforo o una abundancia de nitratos tienen un efecto negativo en plantas y animales (Teague L. 2012). Además los cloruros y algunos metales como Zn, Ni, Cu, Mn, Se y



Fe son micronutrientes esenciales para las plantas, porque se requieren en pequeñas cantidades de (1 a 200 ppm dependiendo del metal y la especie de planta) para su desarrollo normal (Sierra A. et al 2007). Sin embargo cuando se encuentran en los ecosistemas en altas concentraciones pueden afectar la viabilidad y las funciones celulares. (Vargas L. et al 2007).

En los resultados del Bioensayo se demostró que el MPS, altera el crecimiento normal de la raíz e hipocótilo en las cuatro especies analizadas, además de inhibir en un 55% la germinación en la *cebolla*, por lo que se evidencia el efecto tóxico del MPS sobre el normal desarrollo en las primeras etapas de crecimiento de una planta, a lo que se conoce como fitotoxicidad que es el efecto nocivo de una sustancia química que se puede expresar en distintos órganos en la planta.

En el caso de la *cebolla* no se conoce con certeza, cual es el componente del MPS específico que le afecta más que a las otras especies, y sería objeto de nuevos estudios, realizando bioensayos con sustancias puras que sean componentes del MPS, para comparar los resultados de cada una de ellas y encontrar la que produce el mayor efecto inhibitorio.

De los resultados obtenidos en este estudio se observa que hay relación con otros estudios realizados, como por ejemplo el estudio de la Fitotoxicidad de Metales Pesados realizado por Sobrero A. (2010), en el que manifiesta que existen diferentes respuestas entre distintas especies de plantas vasculares respecto de los niveles de tolerancia o toxicidad frente a la exposición a metales pesados, y además menciona a Wang (1987) que compara la respuesta de tres especies de plantas vasculares, *Lactuca sativa* (*lechuga*), *Cucumis sativus* (*pepino*) y *Panicum miliaceum* (*sorgo*) expuestas a compuestos orgánicos y metales pesados, observando una mayor sensibilidad de *L. sativa* por los metales, mientras que con relación a la toxicidad de compuestos orgánicos, la sensibilidad fue mayor en la especie *P. miliaceum*. Cheung et al. (1989) comparan la sensibilidad de 13 especies comestibles frente a la exposición a diferentes metales pesados, observando que la respuesta de éstas es dependiente del elemento estudiado y no encuentran patrones generales de toxicidad. Arambasic et al. (1995) observan una mayor sensibilidad de *Allium cepa*



(cebolla) respecto de *Lepidium sativum* (berro) al evaluar el efecto agudo del Cu(II), Zn(II) y Pb(II) en la elongación de la raíz.

Por otra parte, los resultados de la evaluación de la toxicidad de contaminantes utilizando semillas, también indican una amplia variedad en la respuesta a los metales (Wang, 1987).

Prieto J. et al., (2009) en el estudio Contaminación y Fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua, señala la potencialidad del uso de *cebolla*, *betarraga*, *arroz* y *rabanito* para evaluar la toxicidad y el riesgo de sustancias químicas peligrosas en el ambiente. Además manifiesta que todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal y de las características y contenido en metales del suelo. Sin embargo, el efecto de metales pesados sobre plantas vasculares no se conoce bien. Las diferentes respuestas de las plantas vasculares a metales pesados pueden ser atribuidas a factores genéticos y fisiológicos. En este sentido, cita a Lerda (1992) que encontró que el Pb reduce el crecimiento radicular y la frecuencia de células mitóticas y el incremento de la frecuencia de células aberrantes en *cebolla*. La intensidad del efecto está en función de la concentración del Pb.



CAPITULO VI: CONCLUSIONES

- La concentración en el aire ambiente de MPS, recolectado desde el 16 de febrero hasta el 17 de marzo de 2013, varía de acuerdo a la zona. En las zonas 1 y 3, tienen un valor muy cercano, y son superiores a lo que determina la norma ecuatoriana descrita en el TULASMA; en la zona 2 es un valor que está por debajo del valor máximo especificado en esta normativa.
- La concentración de MPS en los tres puntos de monitoreo supera el valor máximo permitido por la normativa de la OMS que es de $0,5 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$.
- Los niveles de MPS son mayores en las zonas periféricas de la ciudad.
- La concentración de aniones en el MPS es para el Cloruro: 665 mg/Kg, para el Nitrato: menor a 4 mg/Kg y para el Sulfato: 6311 mg/Kg.
- Tanto la Normativa Ecuatoriana como la Normativa de OMS no establecen valores de aniones presentes en MPS.
- Los valores de aniones encontrados en este estudio en MPS son menores que los encontrados en PM10 en el estudio realizado en el Distrito Metropolitano de Quito.
- La concentración de los metales pesados analizados en el MPS recolectado de la zona urbana del Cantón Cuenca es: para el Cobre de 94,36 ppm., para el Cadmio según la técnica empleada es No cuantificado, para el Cromo es de 149,63 ppm., para el Fe es de 26.081,25 ppm., para el Manganeso es de 541,71 ppm., para el Níquel es de 128 ppm y para el Zn es de 952,38 ppm.
- No se puede establecer una comparación con valores referenciales, debido a que la Normativa ecuatoriana, no establece valores para aire ambiente, y la Normativa de la OMS y la ASTDR, no los tiene para MPS, sino únicamente para PM10, y estos valores están dados en ng/m^3 .



- Los metales pesados analizados en el MPS se encuentran en un porcentaje de 2,8 %, que es un valor superior al encontrado por Jachero, L. (2009) (entre 1 y 2%) en su estudio realizado sobre material particulado en Cuenca.
- Durante el bioensayo, el porcentaje de germinación en las tres especies: *lechuga (Lactuca sativa)*, *brócoli (Brassica oleracea Itálica)* y *rábano (Brassica rapanus Sativus)*, está de acuerdo a las especificaciones del productor de las semillas (superior al 85%) y son constantes en todas las pruebas con las distintas concentraciones de MPS por lo que no hay interferencia en dicho proceso.
- En el porcentaje de germinación de la cebolla (*Allium cepa*), se observa una importante inhibición, en un promedio del 55%, resultando ser de las cuatro especies utilizadas en el bioensayo, la más vulnerable a la presencia del MPS.
- El MPS influye en el crecimiento tanto de la raíz como del hipocótilo de *lechuga, brócoli, cebolla y rábano*. En concentraciones bajas de MPS, se produjo estimulación en la elongación tanto de raíz como de hipocótilo en *lechuga, brócoli y rábano*; a mayores concentraciones (4%) se produjo la inhibición del crecimiento con respecto al control en las cuatro especies tanto para raíz como hipocótilo, en diferentes porcentajes para cada una de ellas.
- El efecto inhibitorio del MPS es mayor sobre la *cebolla* que para las otras tres especies, por lo que la *cebolla* es la especie más sensible al MPS.
- El nivel de Fitotoxicidad del MPS en una concentración al 4% para la *lechuga y rábano* es moderado, para *cebolla y brócoli* es severo.
- Algunos componentes del MPS, como los nitratos, sulfatos, cloruros y algunos metales como Zn, Ni, Cu, Mn y Fe, son nutrientes esenciales para el normal desarrollo de las plantas, pero estas mismas sustancias son tóxicas cuando se encuentran en concentraciones mayores a las requeridas y alteran los procesos de germinación de las semillas de *cebolla*, y los primeros días de desarrollo de la plántula de las cuatro especies, por lo que produce la inhibición de la elongación de raíz e hipocótilo.



- La prueba la elongación de la radícula y del hipocótilo constituyen indicadores subletales muy sensibles para la evaluación de efectos fitotóxicos de compuestos presentes en concentración tan bajos que no son suficientes para inhibir la germinación de semillas.
- En el caso de la *cebolla* no se conoce con certeza, cual es el componente del MPS específico que le afecta más que a las otras especies, y sería objeto de nuevos estudios, realizando bioensayos con sustancias puras que sean componentes del MPS, para comparar los resultados de cada una de ellas y encontrar la que produce el mayor efecto inhibitorio.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aire - Minera Los Pelambres. Consulta: Enero 2013. Disponible en http://www.pelambres.cl/m_ambiente/aire.htm
- Arambašić MB, et al., (1995). *Acute toxicity of heavy metals (copper, lead, zinc), phenol and sodium on Allium cepa L., Lepidium sativum L. and Daphnia magna St.: comparative investigations and the practical applications. Water Research.*
- Boletín REDAIRE. (1996). *Red de vigilancia de calidad del aire.* Consulta: Enero 2013. Disponible en <http://www.unalmed.edu.co/redaire/boletines/Boletin%205.pdf>.
- Bravo L. (2012). *Química Ambiental.* Universidad de Cuenca.
- Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca. (2006). *Contaminación del Aire.* Cuenca.
- Cheung, Y. et al. (1989). *Root and Shoot Elongation as an Assessment of Heavy Metal Toxicity and Zn Equivalent Value of Edible Crops. Hydrobiologia.*
- Díaz, V., Páez C. (2006). *Contaminación por material particulado en Quito y caracterización química de las muestras.* Corporación para el mejoramiento del aire en Quito. Quito-Ecuador.
- Empresa Minera del Cerro. *Material particulado sedimentable y su probable efecto en la flora circundante.* Zona de Tuina, Mina Pampita. Consulta: Julio 2013. Disponible en https://www.e-seia.cl/archivos/bd4_Anexo_N_9.pdf
- EPA.OPPTS 850.4200. Consulta: Diciembre 2012. Disponible en [http://www.docstoc.com/docs/46344082/8504200---Seed-GerminationRoot-Elongation-Toxicity-Test-\(PDF\)](http://www.docstoc.com/docs/46344082/8504200---Seed-GerminationRoot-Elongation-Toxicity-Test-(PDF)).
- Escalante, E. (2000). *Estudio de Ecotoxicidad de un suelo contaminado con hidrocarburos.* Consulta: Diciembre 2012. Disponible en <http://www.148.206.53.84/tesiuami/UAMI10492.pdf>



- García, N., Carrillo G., Astudillo A., Vázquez V. (2006). *Niveles de Material Particulado en diferentes zonas de la Ciudad de Cuenca*. Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca.
- González, A., (2008), *Botánica Morfológica*, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina. Consulta: Julio 2013. Disponible en <http://www.biologia.edu.ar/botanica> - www.hiperbotanica.net
- González, B. et al., (2010). *Efecto de la aplicación del cromo en el crecimiento y producción de maíz*. Consulta: Mayo 2013. Disponible en: www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/.../CAO-24.pdf
- Iannacone, J. y Alvariño, L. (2005). Efecto toxicológico de tres metales pesados sobre el crecimiento radicular de cuatro plantas vasculares. Consulta: Marzo 2013. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0365-28072005000200009
- IPCC. (1996). *Climate change*. Consulta: Febrero 2013. Disponible en http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes_biodiversity-sp.pdf
- Jachero L., Moscoso M., (2009). *Evaluación del Riesgo de Exposición a Sustancias Tóxicas procedentes de la contaminación atmosférica en la Ciudad de Cuenca*. Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca. Cuenca- Ecuador.
- Martínez, M. et al., (2009). *Restauración del crecimiento radical por nutrientes inorgánicos en Arabidopsis thaliana expuesta a cromo*. Consulta: Julio 2013. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311834002>
- Medline Plus en español. *Contaminación del aire*. Consulta: Enero-2013. Disponible en <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/airpollution.html>.
- Mészáros, E. (1993). *Global and Regional Changes in Atmospheric Composition*. Lewis Publ., Boca Raton.
- Morales, P. (2010). *El proceso de germinación*. Consulta: Marzo 2013. Disponible en <http://biologia.laguia2000.com/botanica/el-proceso-de-germinacion#ixzz2ZmhSVJRM>



- O'Farrill, M. (2012). *Estadística para toxicólogos*. Universidad de Cuenca
- OMS. *Calidad del aire y salud*. Consulta: Enero 2013. Disponible en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>
- OMS. Consulta: Marzo 2013. Disponible en: *Información básica sobre la contaminación atmosférica urbana*.: www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/.../index.html
- OMS. Consulta: Marzo 2013. Disponible: *Guías de calidad del aire de la OMS* - libdoc.who.int - WorldHealth ... whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf.
- OMS. Consulta: Octubre 2013. Disponible en <http://actualidad.rt.com/ciencias/view/108796-oms-contaminacion-aire-causa-cancer>
- OMS. *Guías de calidad del aire*. Consulta: Marzo 2013. Disponible en <http://www.emo.who.int/Document/E87959.pdf>
- Organero, A., Gimero, M. *Conceptos básicos de botánica*. Consulta: Septiembre 2013. Disponible en <http://www.jardibotanic.org/.../pdf/pub37CONCEPTOS%20>
- Pérez García, F. y Martínez, J. (1994). *Introducción a la Fisiología Vegetal*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Pey, J., (2007). *Caracterización Físico-Química de los Aerosoles Atmosféricos en el Mediterráneo Occidental*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Prieto, J. et al, (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. Redalyc. Consulta: Marzo-2013. Disponible en <http://www.redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=93911243003>
- Querol, X. (2010). *El material particulado atmosférico*. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Consulta: diciembre 2012. Disponible en www.conama8.org/modulodocumentos/.../AE9_doc_XavierQuerol.pdf



- REDAIRE - Universidad Nacional de Colombia. Consulta: Abril-2013. Disponible en <http://www.unalmed.edu.co/redaire/boletines/Boletin%205.pdf>
- Ribera, A. y Canto, J. (2012). *Mediciones de Material Particulado Sedimentable (MPS) y polvo contenido sobre los glaciares (PCG)*. Centro de estudios científicos para la Compañía Nevada del Proyecto Lama.
- Sbarato, V. et al. (1999). *Análisis y Caracterización del Material Particulado Atmosférico. Ciudad de Córdoba Argentina*. Universidad Nacional de Córdoba.
- Sierra et al, (2007). *Principios y prácticas de manejo de nutrientes en la producción de hortalizas*. Consulta: Septiembre 2013. Disponible en S1102/HS356: Principios y prácticas para el manejo de nutrientes ... edis.ifas.ufl.edu/hs356
- Sobrero, M. (2010). *Estudio de la fitotoxicidad de metales pesados y del herbicida glifosato en ambientes acuáticos. Bioensayos con plantas vasculares como organismos diagnóstico*. Universidad Nacional de la Plata.
- Sobrero, M. y Ronco, A. (2005). *Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (Lactuca Sativa L.)* Consulta: Diciembre 2012. Disponible en: aulanet.umb.edu.co/aulanet_jh/...umb/.../4607635_guiaproyecto1.pdf
- Spiro, T. y Stigliani, W. (2004). *Química Medioambiental*. Segunda edición. Madrid: Pearson- Prentice Hall.
- Teague, L. (2012). *Nitratos y fosfatos en plantas*. International Plant Nutrition Institute.
- Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULASMA), libro VI. Anexo 4. Norma de calidad de aire ambiente. Tabla 2.
- Truly Nolen Ecuador. *Efectos de los nutrientes en las plantas*. Consulta: Julio 2013. Disponible en: www.trulynolenecuador.com
- Unidad de Gestión Ambiental del Municipio. *Informe de la calidad del aire de Cuenca año 2008*.

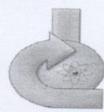


- Universidad de Valencia. (2003). *Germinación de semillas*. Consulta: Julio 2013. Disponible en http://www.euita.upv.es/variados/biologia/Temas/tema_17.htm.
- Urbauer, K. (2012). *Signos de exceso de nitratos en el suelo para los tomates*. Consulta: Agosto 2013. Disponible en: www.eHowenespanol.com
- Vargas, L. et al. (2007). *Efectos de metales pesados sobre el crecimiento de la raíz primaria de Arabidopsis thaliana L.* Instituto de Investigaciones Químico-Biológico UMSNH.
- Varnero, M. et al., (2007). *Indices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje*. Chile. Consulta: Noviembre 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000100003>.
- Venegas, L., Martín P. (2004). *Concentración de material particulado en aire en la ciudad de Buenos Aires*. Consulta: Enero 2013. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/argentina14/venegas2.pdf>
- Villarroel, L. (2009). *Captura, cuantificación y caracterización del material particulado sedimentable en techumbres de la ciudad de Copiapó-Chile*. Consulta: Marzo 2013. Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/idesia/v27n3/art08.pdf>
- Wang, W. (1987). *Root elongation method for toxicity testing of organic and inorganic pollutants*. Environmental Toxicology and Chemistry.



ANEXOS

ANEXO 1: Reporte de resultados de la determinación de metales pesados en la muestra de MPS. Emitido por el CESEMIN.


CESEMIN
 Centro de Servicios y Análisis de Minerales
 Metálicos y No Metálicos
UNIVERSIDAD DE CUENCA


REPORTE DE RESULTADOS MG0024

CLIENTE: MONICA ABAD
MUESTRA: FILTROS CON MATERIAL SEDIMENTADO
FECHA: 2013-03-06

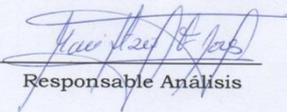
ANÁLISIS QUÍMICO

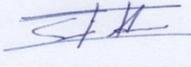
MUESTRA	Cu μg*	Cd μg*	Cr μg*	Fe mg*	Mn μg*	Ni μg*	Zn μg*
Material Sedimentado	72	N.C.	114,17	19,9	413,33	97,67	726,67

μg* = microgramos
 mg* = miligramos
 N.C. = No cuantificado (límite de cuantificación de Cd de acuerdo al método 4 μg)

OBSERVACIONES:

1. Método: Analysis of Metallic Air Pollulants. Analytical Methods. Perkin Elmer 1996. (Digestión ácida y lectura por absorción atómica).


 Responsable Análisis


 Directora

cc. archivo

Universidad de Cuenca, sector Balzain- Telefax: (07) 408 9561 Email: cesemin@ucuenca.edu.ec
 Cuenca - Ecuador <http://rai.ucuenca.edu.ec/cesemin/>



ANEXO 2: Reporte de análisis de la determinación de aniones (Cloruro, Nitrato y Sulfato) en la muestra de MPS. Emitido por Laboratorios GRÜNTEC Enviromental Services.



REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Dra. Mónica Abad
Calle Valle de los Chillós 1-98. Cuenca
Telf:072887364

Atn: Dra. Mónica Abad

Proyecto: Análisis en Material Sedimentable

Muestra Recibida: 12-Mar-13

Tipo de Muestra: 1 muestra de material sedimentable

Análisis Completado: 05-Abr-12

Número reporte Grüntec: 1303081-SG001

Rotulación Muestra:	Material Sedimentable	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	Peso 0.3635g	
No. Reporte Grüntec:	N/D	
	1303081-S001	
Aniones en peso seco: ^{a)}		
Cloruro mg/Kg ^(1,2,3)	665	EPA 300.1
Nitrato mg/Kg ^(1,2,3)	<4	EPA 300.1
Sulfato mg/Kg ^(1,2,3)	6311	EPA 300.1

N/D= No Disponible

a) Debido a la naturaleza de la muestra se realizó dilución 8X

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

San Juan de Cumbayá- Eloy Alfaro 57-157 y Belisario Quevedo, P.O. Box 17-22-20064 Quito- Ecuador
Telfs: 601-4371 / 603-9221/600-5273 - E-mail: info@gruentec.com - www.gruentec.com



ANEXO 3: Datos Descriptivos y Análisis Anova de los datos de crecimiento de raíz e hipocótilo por cada especie.

A) LECHUGA

PRUEBA 1

Raíz de lechuga ((cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	1,3200	,54445	,12174	1,0652	1,5748	,20	2,20
,0002	20	1,3450	,50833	,11367	1,1071	1,5829	,00	1,80
,0020	20	1,3300	,45318	,10133	1,1179	1,5421	,10	1,80
,0200	20	1,4300	,59569	,13320	1,1512	1,7088	,30	2,90
,2000	20	1,5900	,35821	,08010	1,4224	1,7576	1,00	2,20
2,0000	20	2,2650	,67299	,15049	1,9500	2,5800	,20	3,30
4,0000	20	,6900	,34167	,07640	,5301	,8499	,20	1,60
Total	140	1,4243	,65939	,05573	1,3141	1,5345	,00	3,30

ANOVA

Raíz de lechuga ((cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	25,990	6	4,332	16,725	,000
Intra-grupos	34,447	133	,259		
Total	60,437	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz.



Descriptivos

Hipocótilo de lechuga (cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	1,6850	,74500	,16659	1,3363	2,0337	,00	2,50
,0002	20	1,6500	,74304	,16615	1,3022	1,9978	,00	2,50
,0020	20	1,8200	,64775	,14484	1,5168	2,1232	,00	2,30
,0200	20	1,8100	,68510	,15319	1,4894	2,1306	,00	2,30
,2000	20	1,8750	,16182	,03618	1,7993	1,9507	1,50	2,20
2,0000	20	2,1450	,54142	,12106	1,8916	2,3984	,30	2,70
4,0000	20	1,1850	,53240	,11905	,9358	1,4342	,10	1,80
Total	140	1,7386	,65498	,05536	1,6291	1,8480	,00	2,70

ANOVA

Hipocótilo de lechuga (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	10,254	6	1,709	4,603	,000
Intra-grupos	49,378	133	,371		
Total	59,632	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación del hipocótilo.



PRUEBA 2

Descriptivos

Raíz de lechuga (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	1,2750	,55143	,12330	1,0169	1,5331	,00	2,00
,0002	20	1,2000	,47128	,10538	,9794	1,4206	,00	2,00
,0020	20	1,3950	,66291	,14823	1,0847	1,7053	,00	2,70
,0200	20	1,1900	,74474	,16653	,8415	1,5385	,00	2,50
,2000	20	1,1900	,59285	,13257	,9125	1,4675	,00	2,20
2,0000	20	2,3450	,69621	,15568	2,0192	2,6708	,20	3,10
Total	120	1,4325	,74124	,06767	1,2985	1,5665	,00	3,10

ANOVA

Raíz de lechuga (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	20,611	5	4,122	10,496	,000
Intra-grupos	44,773	114	,393		
Total	65,383	119			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz.



Descriptivos

Hipocótilo de lechuga (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	1,6600	,74580	,16676	1,3110	2,0090	,00	2,50
,0002	20	1,8650	,74359	,16627	1,5170	2,2130	,00	2,70
,0020	20	1,6050	,81336	,18187	1,2243	1,9857	,00	2,50
,0200	20	1,5500	,97845	,21879	1,0921	2,0079	,00	2,50
,2000	20	1,5850	,82735	,18500	1,1978	1,9722	,00	2,70
2,0000	20	2,1450	,67237	,15035	1,8303	2,4597	,20	2,80
Total	120	1,7350	,81330	,07424	1,5880	1,8820	,00	2,80

ANOVA

Hipocótilo (cm)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	5,285	5	1,057	1,641	,155
Intra-grupos	73,428	114	,644		
Total	78,713	119			

Sig. >0,05: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de hipocótilo, es decir hay valores de elongación iguales.



B) BRÓCOLI

PRUEBA 1

Descriptivos

Raíz de brócoli (cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	2,6950	1,16686	,26092	2,1489	3,2411	,00	3,80
,0002	20	3,3800	1,63758	,36618	2,6136	4,1464	,00	5,10
,0020	20	2,7850	1,39559	,31206	2,1318	3,4382	,00	5,00
,0200	20	3,1950	1,72885	,38658	2,3859	4,0041	,00	5,90
,2000	20	2,4900	1,45671	,32573	1,8082	3,1718	,00	5,00
2,0000	20	2,3350	1,45069	,32438	1,6561	3,0139	,00	5,10
4,0000	20	1,1600	,76667	,17143	,8012	1,5188	,00	2,40
Total	140	2,5771	1,52967	,12928	2,3215	2,8328	,00	5,90

ANOVA

Raíz de brócoli (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	63,159	6	10,526	5,342	,000
Intra-grupos	262,088	133	1,971		
Total	325,247	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz.



Descriptivos

Hipocótilo de brócoli (cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	1,9300	1,02398	,22897	1,4508	2,4092	,00	3,50
,0002	20	2,0200	1,02218	,22857	1,5416	2,4984	,00	3,60
,0020	20	1,8900	1,06173	,23741	1,3931	2,3869	,00	3,60
,0200	20	1,5350	,79424	,17760	1,1633	1,9067	,00	2,70
,2000	20	1,5050	,94673	,21169	1,0619	1,9481	,00	3,00
2,0000	20	1,8250	1,07158	,23961	1,3235	2,3265	,00	3,50
4,0000	20	,9450	,67938	,15191	,6270	1,2630	,00	2,00
Total	140	1,6643	,99445	,08405	1,4981	1,8305	,00	3,60

ANOVA

Hipocótilo de brócoli (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	16,667	6	2,778	3,059	,008
Intra-grupos	120,794	133	,908		
Total	137,461	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación del hipocótilo.



PRUEBA 2

Descriptivos

Raíz de brócoli (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	2,7050	1,08117	,24176	2,1990	3,2110	,00	3,80
,0002	20	3,7000	1,75079	,39149	2,8806	4,5194	,00	5,90
,0020	20	3,4350	1,70148	,38046	2,6387	4,2313	,00	5,60
,0200	20	3,2550	1,48766	,33265	2,5588	3,9512	,30	5,30
,2000	20	2,9250	1,61241	,36055	2,1704	3,6796	,00	5,10
2,0000	20	3,2150	1,41022	,31533	2,5550	3,8750	,00	5,20
Total	120	3,2058	1,52642	,13934	2,9299	3,4817	,00	5,90

ANOVA

Raíz de brócoli (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	12,578	5	2,516	1,083	,373
Intra-grupos	264,688	114	2,322		
Total	277,266	119			

Sig. >0,05: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz, es decir hay valores de elongación iguales.



Descriptivos

Hipocótilo de brócoli (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	2,0150	,80281	,17951	1,6393	2,3907	,50	3,20
,0002	20	2,0350	1,09702	,24530	1,5216	2,5484	,00	3,70
,0020	20	2,0100	1,08574	,24278	1,5019	2,5181	,00	3,30
,0200	20	2,0500	,88645	,19822	1,6351	2,4649	,00	3,20
,2000	20	1,8400	1,05451	,23580	1,3465	2,3335	,00	3,60
2,0000	20	2,1700	,81376	,18196	1,7891	2,5509	,00	3,40
Total	120	2,0200	,94944	,08667	1,8484	2,1916	,00	3,70

ANOVA

Hipocótilo de brócoli (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1,123	5	,225	,241	,943
Intra-grupos	106,149	114	,931		
Total	107,272	119			

Sig. $>0,05$: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de hipocótilo, es decir hay valores de elongación iguales.



C) CEBOLLA

PRUEBA 1

Descriptivos

Raíz de cebolla (cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	,2000	,11698	,02616	,1453	,2547	,00	,40
,0002	20	,0900	,11192	,02503	,0376	,1424	,00	,30
,0020	20	,1050	,11459	,02562	,0514	,1586	,00	,30
,0200	20	,0750	,10699	,02392	,0249	,1251	,00	,30
,2000	20	,0600	,08208	,01835	,0216	,0984	,00	,20
2,0000	20	,1000	,13377	,02991	,0374	,1626	,00	,40
4,0000	20	,1200	,14726	,03293	,0511	,1889	,00	,40
Total	140	,1071	,12271	,01037	,0866	,1276	,00	,40

ANOVA

Raíz de cebolla (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,248	6	,041	2,978	,009
Intra-grupos	1,845	133	,014		
Total	2,093	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz.



Descriptivos

Hipocótilo de cebolla (cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	,1900	,22688	,05073	,0838	,2962	,00	,60
,0002	20	,0950	,17911	,04005	,0112	,1788	,00	,50
,0020	20	,0950	,17313	,03871	,0140	,1760	,00	,50
,0200	20	,0400	,12732	,02847	-,0196	,0996	,00	,50
,2000	20	,0950	,17313	,03871	,0140	,1760	,00	,50
2,0000	20	,0550	,20384	,04558	-,0404	,1504	,00	,90
4,0000	20	,0000	,00000	,00000	,0000	,0000	,00	,00
Total	140	,0814	,17489	,01478	,0522	,1107	,00	,90

ANOVA

Hipocótilo de cebolla (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,428	6	,071	2,479	,026
Intra-grupos	3,824	133	,029		
Total	4,252	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación del hipocótilo.



PRUEBA 2

Descriptivos

Raíz de cebolla (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	,1900	,13338	,02982	,1276	,2524	,00	,50
,0002	20	,1000	,12140	,02714	,0432	,1568	,00	,30
,0020	20	,0900	,12937	,02893	,0295	,1505	,00	,40
,0200	20	,1150	,15652	,03500	,0417	,1883	,00	,50
,2000	20	,1200	,15424	,03449	,0478	,1922	,00	,40
2,0000	20	,1200	,13992	,03129	,0545	,1855	,00	,50
Total	120	,1225	,14050	,01283	,0971	,1479	,00	,50

ANOVA

Raíz de cebolla (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,124	5	,025	1,268	,283
Intra-grupos	2,226	114	,020		
Total	2,349	119			

Sig. $>0,05$: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz, es decir hay valores de elongación iguales.



Descriptivos

Hipocótilo de cebolla (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	,1650	,22542	,05041	,0595	,2705	,00	,70
,0002	20	,0900	,18890	,04224	,0016	,1784	,00	,50
,0020	20	,0600	,15009	,03356	-,0102	,1302	,00	,50
,0200	20	,1300	,22029	,04926	,0269	,2331	,00	,70
,2000	20	,1750	,24895	,05567	,0585	,2915	,00	,60
2,0000	20	,1350	,20844	,04661	,0374	,2326	,00	,60
Total	120	,1258	,20884	,01906	,0881	,1636	,00	,70

ANOVA

Hipocótilo de cebolla (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	,193	5	,039	,883	,495
Intra-grupos	4,996	114	,044		
Total	5,190	119			

Sig. $>0,05$: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de hipocótilo, es decir hay valores de elongación iguales.



D) RÁBANO

PRUEBA 1

Descriptivos

Raíz de rábano (cm). Prueba1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	8,3300	2,81502	,62946	7,0125	9,6475	2,00	14,70
,0002	20	8,3650	1,97944	,44262	7,4386	9,2914	4,30	11,00
,0020	20	9,0500	1,66560	,37244	8,2705	9,8295	6,00	12,00
,0200	20	7,8250	2,57045	,57477	6,6220	9,0280	2,20	14,00
,2000	20	8,1150	1,88129	,42067	7,2345	8,9955	4,10	12,00
2,0000	20	7,6500	2,84744	,63671	6,3174	8,9826	1,30	11,80
4,0000	20	4,1900	1,64410	,36763	3,4205	4,9595	,00	7,10
Total	140	7,6464	2,65383	,22429	7,2030	8,0899	,00	14,70

ANOVA

Raíz de rábano (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	303,040	6	50,507	9,938	,000
Intra-grupos	675,908	133	5,082		
Total	978,948	139			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz.



Descriptivos

Hipocótilo de rábano (cm). Prueba 1.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	2,2400	,88401	,19767	1,8263	2,6537	1,00	4,40
,0002	20	2,2850	,79490	,17775	1,9130	2,6570	1,00	4,20
,0020	20	2,1400	,72431	,16196	1,8010	2,4790	1,00	3,30
,0200	20	1,8750	,52302	,11695	1,6302	2,1198	1,00	2,80
,2000	20	2,1500	,60219	,13465	1,8682	2,4318	1,00	3,40
2,0000	20	1,9650	,73074	,16340	1,6230	2,3070	1,00	4,10
4,0000	20	1,7300	,65059	,14548	1,4255	2,0345	,00	2,90
Total	140	2,0550	,72014	,06086	1,9347	2,1753	,00	4,40

ANOVA

Hipocótilo de rábano (cm). Prueba 1.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	4,990	6	,832	1,649	,139
Intra-grupos	67,097	133	,504		
Total	72,087	139			

Sig. $>0,05$: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación del hipocótilo, es decir hay valores de elongación iguales.



PRUEBA 2

Descriptivos

Raíz de rábano (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	6,5750	3,66374	,81924	4,8603	8,2897	,00	14,00
,0002	20	8,5150	3,29086	,73586	6,9748	10,0552	1,00	14,60
,0020	20	8,0700	2,33195	,52144	6,9786	9,1614	4,40	15,30
,0200	20	8,0050	2,69160	,60186	6,7453	9,2647	2,20	14,10
,2000	20	8,5200	2,62951	,58798	7,2894	9,7506	4,70	14,10
2,0000	20	6,5450	2,97471	,66517	5,1528	7,9372	,30	11,80
Total	120	7,7050	3,01898	,27559	7,1593	8,2507	,00	15,30

ANOVA

Raíz de rábano (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	83,321	5	16,664	1,897	,100
Intra-grupos	1001,276	114	8,783		
Total	1084,597	119			

Sig. >0,05: no hay diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación de la raíz, es decir hay valores de elongación iguales.



Descriptivos

Hipocótilo de rábano (cm). Prueba 2.

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
,0000	20	2,2150	,98316	,21984	1,7549	2,6751	,00	4,00
,0002	20	2,0050	,69621	,15568	1,6792	2,3308	1,00	3,70
,0020	20	1,7450	,46620	,10425	1,5268	1,9632	1,10	2,80
,0200	20	1,9300	,99160	,22173	1,4659	2,3941	,90	4,80
,2000	20	2,1350	,79821	,17848	1,7614	2,5086	1,00	3,60
2,0000	20	2,5900	,89906	,20104	2,1692	3,0108	1,00	4,50
Total	120	2,1033	,85119	,07770	1,9495	2,2572	,00	4,80

ANOVA

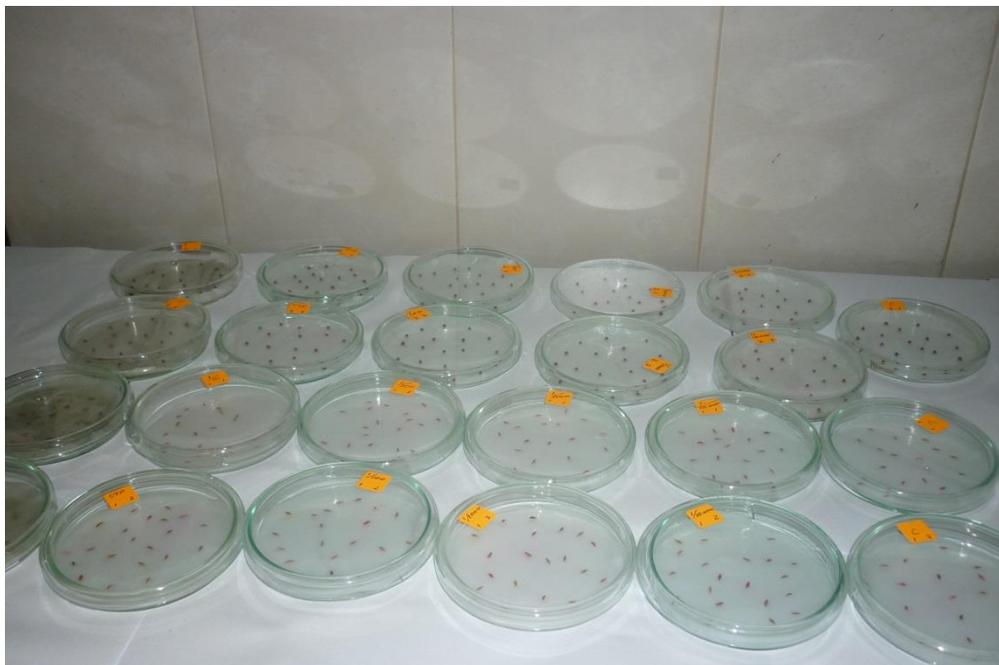
Hipocótilo de rábano (cm). Prueba 2.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	8,369	5	1,674	2,451	,038
Intra-grupos	77,850	114	,683		
Total	86,219	119			

Sig. < 0,05: existe diferencia estadística significativa entre las diferentes concentraciones y la elongación del hipocótilo.

ANEXO 4: Fotografías

4.1. Semillas al inicio de la prueba en diferentes diluciones de MPS.

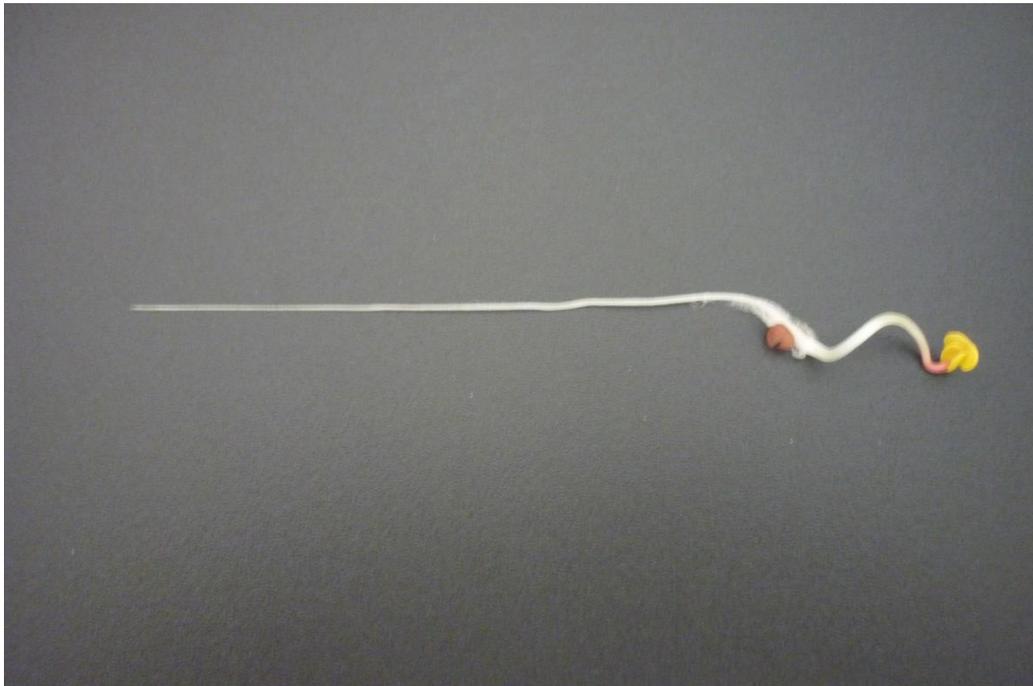


4.2 Semillas de rábano, luego de 120 horas de la siembra (final de la prueba).

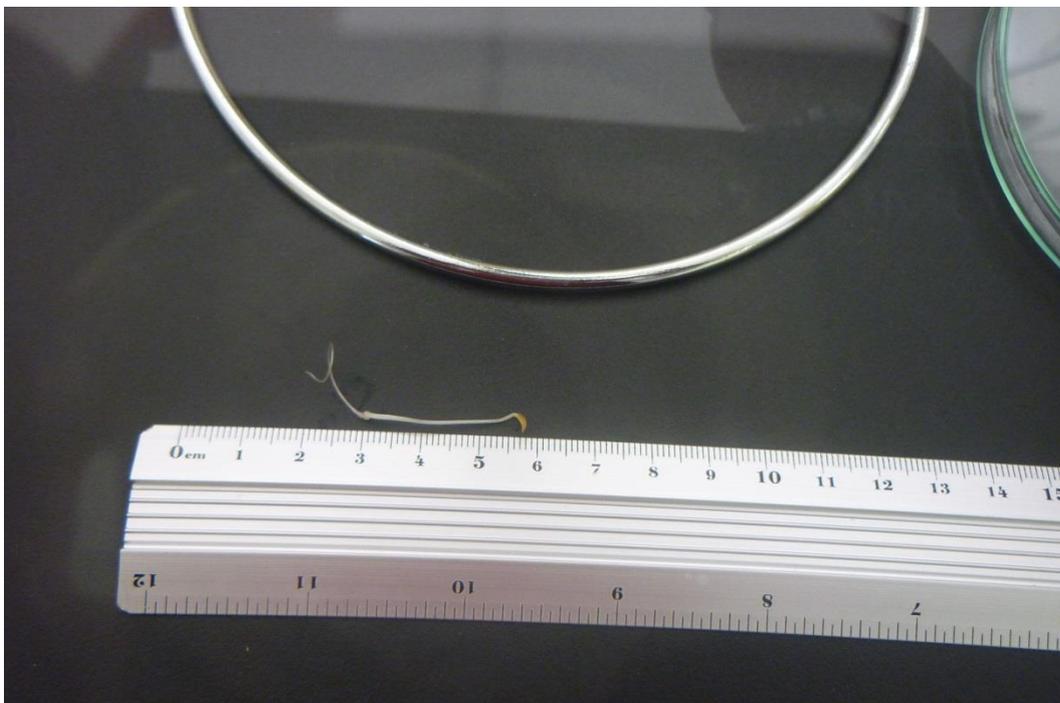




4.4 Semilla germinada de rábano con raíz e hipocótilo



4.5 Semilla germinada de lechuga con raíz e hipocótilo al final de la prueba



4.6 Semillas germinadas de cebolla con raíz e hipocótilo al final de la prueba



4.7 Semilla germinada de brócoli con raíz e hipocótilo

