

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR



Universidad Agraria de La Habana

“Fructuoso Rodríguez Pérez”

Departamento de Química

***Liplant: Alternativa para la producción ecológica del tomate
(Solanum lycopersicum Linneo) y la conservación del
medio edáfico***



**Tesis presentada en opción al Grado Científico de
Doctor en Ciencias Agrícolas**

Autora: Lic. Mayra Arteaga Barrueta, MSc.

Mayabeque

2013

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR



Universidad Agraria de La Habana

“Fructuoso Rodríguez Pérez”

Departamento de Química

***Liplant: Alternativa para la producción ecológica del tomate
(Solanum lycopersicum Linneo) y la conservación del
medio edáfico***

**Tesis presentada en opción al Grado Científico de
Doctor en Ciencias Agrícolas**

Autora: Lic. Mayra Arteaga Barrueta, MSc.

Tutores: Lic. Nelson Garcés Pérez, Dr C.

Lic. Fernando Guridi Izquierdo, Dr C.

Mayabeque

2013

Citación correcta Norma ISO 690

Según Sistema de Referencia Numérico

1. Arteaga Barrueta, Mayra. *Liplant: Alternativa para la producción ecológica del tomate (*Solanum lycopersicum* Linneo) y la conservación del medio edáfico*. [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas] Mayabeque: Universidad Agraria de La Habana, 2013.

Según Sistema de Referencia Apellido, año

Arteaga Barrueta, Mayra. 2013. *Liplant: Alternativa para la producción ecológica del tomate (*Solanum lycopersicum* Linneo) y la conservación del medio edáfico*. [Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Agrícolas] Mayabeque: Universidad Agraria de La Habana.

SÍNTESIS

Dentro de las acciones reflejadas en la Proyección Estratégica del Programa Integral de Cultivos Varios del Ministerio de la Agricultura de Cuba se encuentra el incremento de la productividad ecológica de las hortalizas, particularmente el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), sin afectar el medio agroecológico donde se desarrollen (Pérez, 2010). Por lo cual un productor exitoso de las próximas décadas deberá tener a su disposición alternativas, técnicas y métodos confiables que lo garanticen (Terry *et al.*, 2010). En este sentido, la aplicación de Liplant (obtenido con bajo costo a partir de vermicompost para concentrar sustancias con alta actividad biológica en bajas concentraciones), pudiera ser una de las alternativas que contribuya a este propósito. Con este fin, el objetivo propuesto en esta investigación estuvo orientado a evaluar los efectos de la aplicación del Liplant sobre la productividad biológica y agrícola en el cultivo de tomate en condiciones de producción y en la conservación y/o mejora de propiedades físicas, físico-químicas y biológicas de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, así como en la preservación de la calidad de las aguas de lixiviación. En condiciones de laboratorio se realizaron pruebas de aplicaciones equivalentes al uso del Liplant entre uno y dos años, con las diluciones de concentración más elevadas utilizadas en los cultivos. Los resultados indicaron efectos positivos sobre la productividad biológica de las plántulas en la etapa de semillero con la inmersión de las semillas, se acortó el período de obtención de las mismas con una calidad superior respecto a las no tratadas, resultó ser más promisoría la mayor dilución (1:40 v:v), al conseguir semejantes resultados con menor utilización del producto. Con la aplicación foliar de las diluciones Liplant en las variantes utilizadas se logró el incremento de la productividad agrícola del cultivo, al duplicar los rendimientos con mayor calidad de los frutos y preferencia por parte de los consumidores, se aumentaron de las ganancias y la eficiencia económica; ejercieron una acción favorable en la conservación y en la mejora de las propiedades que determinan en la fertilidad de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados, y en la preservación de las aguas de lixiviación. La combinación de la dilución 1:40 aplicada a las semillas con dos aplicaciones foliares en 1:30 (v:v) en la etapa de plantación, tuvo la mayor repercusión al ser el tratamiento más eficiente económicamente de los aplicados. Los resultados obtenidos con el procedimiento desarrollado con carácter multidisciplinario permitió evaluar los efectos de la inserción del Liplant al sistema productivo de una finca y a nivel de laboratorio, los cuales lo sugieren como una alternativa ecológica viable y eficiente para incrementar la producción tomatera y la protección de los recursos en los agrosistemas donde se aplique, acorde a los requerimientos de una agricultura sostenible.

Acrónimos y Abreviaturas	Significado
%CAF	Porcentaje de Carbono en Ácidos Fúlvicos
%CAH	Porcentaje de Carbono en Ácidos Húmicos
%CSH	Porcentaje de Carbono en Sustancia Húmicas
AF	Ácido Fúlvico
AFE	Área foliar específica
AH	Ácido Húmico
AIA	Ácido indol acético
CCB	Capacidad de cambio de bases
CE	Conductividad eléctrica
COD	Carbono orgánico disuelto
Cl	Clorofila
CS	Ciclo de cultivo
da	Densidad aparente del suelo
ddg	Días después de germinados
ddt	Días después del trasplante
L1/40	Tratamiento con dilución 1:40 v:v de Liplant
L1/30	Tratamiento con dilución 1:30 v:v de Liplant
LP	Tratamiento combinación dilución 1:40 con 1:30 Liplant
DE	Diámetro ecuatorial del fruto
DQO	Demanda química de oxígeno
DBO ₅	Demanda química de oxígeno evaluada en cinco días
DP	Diámetro polar del fruto
DE	Diámetro ecuatorial del fruto
ds	Densidad del suelo
LT	Longitud del tallo de las plantas
DT	Diámetro del tallo de las plantas
E	Absortividad
ERO	Especies reactivas de oxígeno
EVc	Extracto de vermicompost
EVcEV	Extracto de vermicompost de estiércol vacuno
FR	Ferralítico Rojo
FF	Firmeza de los frutos
FP	Frutos por plantas
FTIR	Espectrometría Infra rojo con transformada de Fourier
GA ₃	Giberelina
ICr	Índice de crecimiento

IC	Índice de condensación
IH	Índice de hidrofobicidad
L	Liplant
LIX	Lixiviado
mF	Masa del fruto
mff	Masa fresca foliar
mfF	Masa fresca del fruto
msF	Masa seca del fruto
mfR	Masa fresca de la raíz
M	Masa molecular
MF	Masa del fruto
MOS	Materia orgánica del suelo
MOD	Materia orgánica disuelta
msf	masa seca foliar
msR	masa seca de la raíz
nFI	Número de flores por plantas
nH	Número de hojas por plantas
NR	Nitrato reductasa
OD	Oxígeno disuelto
R	Raíz
RAS	Relación de adsorción de sodio
SH	Sustancias Húmicas
SST	Sales solubles totales en los frutos
TAN	Tasa de asimilación neta
TCR	Tasa de crecimiento relativo
UFC	Unidades formadoras de colonias
UV-Visible	Ultravioleta visible
Vit. C	Ácido ascórbico (vitmina C)
CQ	Citoquininas

A:

Quienes son los motivos de inspiración en mi vida: mis niños y a ese rayito de luz que está por llegar, que aunque este lejos, sé que tendrá la intensidad para alumbrar más mi vida.

Quienes siempre estarán conmigo: mis madres. Quienes son ejemplo de amor, dedicación, lucha, honradez, humanidad y sacrificio: mis hermanos.

Mi amor, esposo y amigo...

Mi familia.

A quienes son parte también de ella: mí querido tutor y su esposa Livia.

A la amistad, la humanidad y la sabiduría: Dr. C. Fernando Ortega.
Orlando Hernández.

**A la perseverancia, el sacrificio, la tenacidad, la dedicación
La vida, por permitirme culminar este trabajo.**

Agradezco a la vida por permitirme haber tenido a mí alrededor un conjunto de personas especiales que han contribuido a que este trabajo se haga realizable, es por ello que considero que no es un resultado de una sola persona. Con la ayuda de todos, fue posible llegar al final de un camino, que se convirtió en algo largo para mí, lo cual requirió de mucha comprensión, aliento, paciencia y sabiduría para ayudarme en su recorrido. Sin ustedes no hubiera sido posible pues cada uno ha dejado huellas que son imposibles de borrar. Están en mi corazón y tendrán mi eterno reconocimiento....

Primeramente a *mi familia*, por las horas (que han llegado a ser años) de atención y dedicación.

A mi querido tutor, Dr. C. Nelson Garcés: maestro, amigo y ejemplo de exigencia, por la gran confianza depositada al permitirme trabajar con él, conduciéndome de manera ingeniosa a los resultados finales. A su esposa la Dra. C. Livia, gracias por su amistad, cariño y consejos certeros. A mi tutor, Dr. C. Fernando Guridi: por su apoyo y conducción por un camino menos tortuoso.

Al Dr. C. René Novo, por ser tutor durante la Maestría y apoyarme en la realización de los experimentos microbiológicos, la elaboración y rectificación del documento.

Son mucho los compañeros involucrados con estos resultados obtenidos, que me apoyaron durante años (de Química, Fitotecnia, Sanidad Vegetal, Suelo, Agrofísica, Recursos Humanos, LATED, Computación,...): Ana Regina, Jorgito, Sael, Ruíz, Dubiel, Satu, Amarilys, Margarit, Julita, Carmita, Maye, Huelva, Dariel, Migue, Caro, Orlando, Darling, Andrés, Juan, Josefina. Al Dr. C. Pablo Alfonso por sus orientaciones, al Dr. C. Dagoberto Mederos por sus sugerencias y a la Dra. C. Darielys Martínez, por la comprensión. En el INCA colaboraron muchos: Yoyi, Cartalla, Mabel, Melba, Juvenal, Remigio, Mara, Zoilo e Inés. Al Dr. C. Adriano Cabrera por aportarme ideas muy valiosas.

Al mejorar el documento a través de varias versiones, muchos especialistas me afirmaron con opiniones muy importantes, dedicando el tiempo de su descanso personal para darme expertas orientaciones y propuestas de cambios: la Dra. C. Miriam Núñez, quien admiro y respeto mucho (profesional y personalmente), pues supo darme palabras precisas de apoyo en el momento indicado; la Dra. C. Miriam Isidón siempre presta a auxiliarme y aconsejarme de manera muy certera y paciente, a las experiencias brindadas por la Dra. C. Asela Ramos, todas ellas se convirtieron en "Mis Hadas Madrinas". El Dr. C. Carlos Balmaceda me apoyo más de una vez con el diseño y las revisiones de la tesis, siempre con el interés de colaboración (sé que afecté sus vacaciones en familia), es por ello que tanto agradezco sus consejos certeros y muy detallados, además más que agradecida por brindarme su amistad:, te quiero mucho!!! . Al Dr. C. Daniel Ponce de León, por su amistad, sabiduría y apoyo con la elaboración del

documento. A la Dra. C. María Elena Ruíz, ejemplo de dedicación y entrega como investigadora y amiga. Al Dr. C. Jerez, por la revisión tan cuidadosa, detallada y certera, por ser parte del tribunal de predefensa, y por el cariño brindado. Al Dr. C. Alberto Hernández, por sus orientaciones y señalamientos que enriquecieron mis conocimientos; y al Dr. C. Ángel Leiva, por brindarme su ayuda y formar parte en los tribunales de examen de especialidad y predefensa. Mi admiración al Dr. C. Iván Castro, por sus buenos consejos que encaminaron algunos caminos de mi investigación. Al ejemplo del Dr. C. Febles, por dedicarme parte de su escaso tiempo con mucha amabilidad y caballerosidad, y por los señalamientos que enriquecieron la correcta elaboración del documento. Al Dr. C. Nelson Martín, por su ayuda incondicional en mi preparación (durante la Maestría y el Doctorado), colaborando en la corrección de las tesis en la etapa de predefensa, muy preocupado por mi situación persona y siempre presto a auxiliarme. Al Dr. C. Eduardo Héctor (ex decano de mi Facultad), que durante todo este tiempo me apoyó, brindó consejos muy valiosos y colaboró en la revisión del documento final. Al Dr. C. Héctor Rodríguez, que desde que trabajaba en el CENSA, colaboró conmigo en este largo proceso de investigación, y con mucha amistad e interés, me apoyó en los artículos a publicar y en la revisión del documento. Al Dr. C. Pablo Marrero y el Dr. C. Orestes Cruz, por sus ayudas incondicionales en esta etapa de trabajo. Al Dr. C. Nelson Nápoles, por sus aportes en la redacción del documento final y sentirme alagada al recibir su amistad. A la Dra. C. Lucía Fernández y la Ms. C. Josefina de Calzadilla (Grupo de Biometría) por el asesoramiento estadístico y la revisión del diseño del experimento. Al Dr. C. Mario Varela, por sus señalamientos diestros en la conducción de la experiencia.

A la Dra. C. Adianés Taboada, motor impulsor en esta etapa final, gracias por tu apoyo, consejo y sobre todo el cariño que me brindas, gracias por tu amistad. A Yunia, por su apoyo en la impresión del material. Al Dr. C. Eduardo Ortega, por planificar parte de su tiempo para contribuir a la defensa de esta investigación, muy agradecida recibirá siempre de mí, el respeto que Ud se merece.

Al Dr. C. Ramiro Valdés, por su gran sabiduría y el trabajo realizado en la revisión del documento, y propuestas de cambios de la tesis en más de una ocasión, por aceptar realizarme la oponencia en momentos de máximas responsabilidades y en tiempo de su descanso personal; considero que siempre he tenido su apoyo, lo que lo convierte en otro tutor y responsable de los logros obtenidos. A la Dra. C. María Irene Balbín, rectora de nuestra Universidad, responsable de mi entrada al Departamento de Química, donde siempre ha permanecido el empeño de preparación y formación constante de sus profesores, contribuyeron de esta forma a mi preparación profesional y apoyándome para la culminación de este trabajo.

A los profesores y trabajadores de las Facultades de Agronomía y Ciencias Técnicas (antigua Mecanización Agropecuaria), y a mis alumnos del grupo de investigación, que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este trabajo de equipo. A todos aquellos que me brindaron una sonrisa cariñosa de comprensión o palabras de aliento, dándome ánimo y fuerzas para continuar esta tarea, sin dejar otras muy importantes como la salud de mi hijo, siempre preocupados por ella.

Un agradecimiento Especial a cuatro personas que tienen un lugar especial en mi corazón y que hoy debían estar aquí físicamente: a mi amigo y alumno Orlando Hernández, a la entrañable Dra. C. Luisa Díaz Viruliche, Dra. C. Rosa Orellana y al profesor Dr. C. Fernando Ortega, a quien dedico este trabajo, pues con su gran maestría y caudal de conocimientos colaboró conmigo en la elaboración y rectificación del documento, aportándome sus consejos imborrables. Gracias Profe por su cariño. Mis respetos y admiración eterna.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2. Sistema Suelo-Aguas de lixiviación-Plantas.....	4
2.1. Suelo.....	4
2.1.2. Características de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados.....	5
2.1.3. Indicadores de calidad de los suelos.....	6
2.1.4. Microorganismos del suelo.....	7
2.1.5. La Materia Orgánica del Suelo.....	11
2.1.5.1. Las sustancias húmicas del suelo.....	13
2.1.5.2. Características de las MOS y las SH.....	21
2.2. Aguas de lixiviación del suelo.....	23
2.2.1. Indicadores de calidad de las aguas de lixiviación.....	25
2.3. Plantas.....	26
2.3.1. Generalidades del Cultivo del tomate.....	26
2.4. Extracto de vermicompost de estiércol vacuno "Liplant".....	32
III. MATERIALES Y MÉTODOS	37
Aspectos generales:.....	37
Caracterización de propiedades de los suelos utilizados en el estudio.....	37
3.1. Evaluación del efecto de la aplicación de disoluciones de Liplant en la productividad biológica y agrícola del cultivo del tomate en experimento de campo.....	39
3.1.1. Indicadores de la productividad biológica y agrícola del cultivo.....	41
3.1.2. Análisis económico de la producción.....	41
3.2. Evaluación de propiedades físicas, físico-químicas del suelo en la finca de producción.....	41
3.3. Evaluación del efecto de la aplicación del Liplant en propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo y las aguas de lixiviación en el tiempo en experimentos de laboratorio.....	43
3.3.1. Efecto del Liplant en poblaciones microbianas y propiedades físico- químicas del suelo.....	43
3.3.2. Efecto del Liplant la actividad respiratoria de microorganismos del suelo en el tiempo.....	44
3.4. Evaluación del efecto del Liplant en propiedades físico- químicas del suelo y las aguas lixiviadas	44
Procedimientos generales para el análisis estadístico de la información.....	45
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Evaluación del efecto de la aplicación de Liplant en la productividad biológica y agrícola del cultivo del tomate en experimento de campo.....	46
4.1.1. Indicadores de crecimiento y bioquímicos de las plantas.....	46
Etapa de semillero.....	46
Etapa de plantación.....	53
Indicadores de producción agrícola del cultivo.....	55
Indicadores de calidad de los frutos.....	58
4.1.2. Análisis económico de la producción.....	62
4.2. Evaluación de propiedades físicas, físico-químicas del suelo en la finca de producción.....	62
4.3. Evaluación del efecto de la aplicación del Liplant en propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo y las aguas de lixiviación en el tiempo en experimentos de laboratorio.....	64
4.3.1. Efecto del Liplant en poblaciones microbianas y las propiedades físico-químicas del suelo....	64
Dinámica de evaluación del carbono de la materia orgánica del suelo (MOS).....	64
Evaluación espectroscópica de los ácidos húmicos de la materia orgánica del suelo (MOS)...	67

Evaluación del pH, contenido de iones inorgánicos y CCB del suelo antes y después de la lixiviación.....	72
Cuantificación de microorganismos del suelo en el tiempo.....	75
4.3.2. Efecto del Liplant en la actividad respiratoria de microorganismos del suelo en el tiempo.....	77
4.4. Evaluación del efecto del Liplant en propiedades físico-químicas del suelo y las aguas lixiviadas.....	78
Evaluación espectroscópica del suelo lixiviado.....	79
Evaluación de la materia orgánica disuelta (MOD) en las aguas de lixiviación.....	84
Evaluación del contenido de iones inorgánicos en las aguas de lixiviación.....	86
Discusión General.....	90
V. CONCLUSIONES.....	93
VI. RECOMENDACIONES.....	94

I. INTRODUCCION

Entre los desafíos esenciales del siglo XXI contemplados en la política económica de Cuba respecto al desarrollo agrícola se encuentra satisfacer la alta demanda alimentaria de la población (PCC, 2011). Sin embargo, la productividad de los cultivos actualmente no alcanzan a cubrirlas, como ocurre en el tomate (*Solanum lycopersicum* L.), una de las principales hortalizas cultivadas en Cuba con un rendimiento promedio de 13,5 t.ha⁻¹ (ONE, 2011); los cuales son afectados por la antropogénesis tropical (Hernández *et al.*, 2011), la alta incidencia de plagas (Morales, 2010), el detrimento de la MOS que determina la disminución de la capacidad productiva de los suelos en un 50% por manejos inadecuados durante muchos años de cultivo intensivo (Febles *et al.*, 2010). Situación que se presenta en gran parte de los suelos Ferralíticos Rojos (FR) (Orellana *et al.*, 2008), específicamente los FR Lixiviados que ocupan 150 000 ha en las provincias de Mayabeque y Artemisa, cuyas pérdidas de las reservas de carbono se encuentran entre un 50-55% (Morales *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2012). Además de la influencia de la crisis global, donde predomina la escasez de los insumos para incrementar las producciones. Condiciones que dejan un saldo en el deterioro de los agroecosistemas con el paso del tiempo (Núñez *et al.*, 2008).

Estas condiciones determinan que para alcanzar la sostenibilidad de la productividad a largo plazo, se promuevan entre otras alternativas la adopción del empleo de compost y vermicompost obtenidos a partir de los recursos naturales del propio agroecosistema, para asegurar el mantenimiento de rendimientos provechosos, la rentabilidad económica y la preservación del ecosistema (Garcés, 1999). Sin embargo, a pesar de lograr una concepción en los productores para su adopción a partir del conocimiento de las ventajas y la necesidad del uso de las mismas (Leyva, 2008), aún no se encuentran sistematizadas y generalizadas en las diferentes modalidades de producción (Heredia, 2013)¹, fundamentalmente por no poder autoabastecerse, siendo muy dependientes de la disponibilidad de estos materiales en el mercado, que a escala global generalmente no logra cubrir las altas demandas de los grandes volúmenes que son necesarios aplicar (4-5 t.ha⁻¹) para aumentar y mantener el potencial productivo anual en los cultivos, como el tomate cuya producción es mayoritaria en el sector no estatal (ONE, 2011), donde en ocasiones tienen que prescindir de ellos y de otros productos de fertilización para lograr las producciones (productores y especialistas)¹. Por tales causas su aplicación debe adquirir una base científica que permita la utilización más racional y eficiente de estos recursos (Garcés, 1999; Garcés *et al.*, 2006).

1. Heredia Concepción. Dr.C. profesor UNAH. Resultados Inéditos de diagnósticos realizados en entrevistas y debates en talleres con productores y especialistas de la ANAP y MINAGRI , fundamentalmente en la Agricultura Urbana en los municipios de las provincias occidentales del país entre las que se incluyen Mayabeque, Artemisa y Ciudad de La Habana. Comunicación personal Junio 2013.

Estudios integrales establecidos con productos naturales que contemplen estas necesidades y protocolos para realizar el seguimiento del mismo durante su uso prolongado, no abundan en la literatura internacional y nacional (Terry, 2004; Canellas 2005).

La introducción del Liplant en los sistemas productivos es una alternativa que puede contribuir a afrontar la situación vigente. Es un producto obtenido a bajo costo a partir del procesamiento físico-químico del vermicompost para concentrar sustancias activas, en bajas concentraciones manifiestan una alta actividad biológica al aplicarse sobre los cultivos (Garcés *et al.*, 1999, 2006).

Presenta una alta heterogeneidad en su composición (Anexo 1), pues está formado por una fracción con 36% de materia orgánica, de ella humificada el 26%, hormonas de crecimiento auxinas, giberelinas, precursores de citoquinina (3.4%), aminoácidos (7%), y un 57% de fracción mineral (Caro, 2004) con presencia de microorganismos benéficos (Arteaga *et al.*, 2007). Estudios iniciales de aplicación del Liplant en intervalos de dilución entre 1:10-1:30 v:v, demostraron una efectividad superior a la utilización del vermicompost, en la bioestimulación que provoca en las plantas al ser aplicados foliar en bajas diluciones, lo que ayuda a reducir la cantidad a aplicar de este material para lograr una respuesta productiva positiva en los cultivos, con un manejo de aplicación más eficiente y humanizado (Huelva, 1996; Garcés, 1999; Garcés *et al.*, 2006).

No obstante, la mayoría de las investigaciones publicadas sobre el Liplant están centradas en el efecto estimulador y se limitan a señalar sus dosis estimulantes para determinados indicadores en momentos específicos del desarrollo en diversos cultivos (Garcés *et al.*, 2006). Sin embargo, no constituyen estudios que conlleven a la valoración del ciclo íntegro en un cultivo con reproducibilidad en el tiempo, que aporten información sobre las potencialidades del Liplant y las oportunidades que pueda ofrecer su utilización sistemática, integrada en una tecnología de aplicación que permita ser incluida como una alternativa ecológica viable en el sistema de producción y brinde su mayor contribución a la productividad en cultivos como el tomate y a favorecer la conservación de su ambiente.

En función de los antecedentes anteriores, se realizó la investigación donde se estableció como **Problema Científico**: *¿La aplicación de Liplant será una alternativa ecológica eficiente para incrementar la productividad del cultivo de tomate al ser insertado al sistema productivo?*

La **hipótesis** formulada: *La aplicación de Liplant provoca efectos positivos sobre la productividad del cultivo de tomate y en la conservación de las propiedades del suelo y las aguas lixiviadas, al integrarse al sistema productivo.*

El **Objetivo General** que da respuesta a la hipótesis planteada: *Evaluar los efectos de la aplicación del Liplant en la productividad biológica y agrícola del cultivo de tomate en condiciones de producción de una finca, así como en la conservación de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y de las aguas de lixiviación.*

Objetivos específicos:

1. Determinar el efecto de la aplicación de las diluciones de Liplant en indicadores fisiológicos, bioquímicos, productivos y de calidad en plantas de tomate variedad Amalia en fase de semillero y plantación, así como la factibilidad económica y social de su uso en el sistema productivo de una finca.
2. Valorar los posibles efectos de la aplicación de las diluciones de Liplant en propiedades físicas, físico-químicas y biológicas de suelo Ferralítico Rojo Lixiviado durante tres ciclos de cultivo de tomate, en condiciones de producción de una finca y de laboratorio en pruebas de aplicación equivalentes a su uso durante dos años.
3. Determinar posibles efectos de la aplicación diluciones de Liplant equivalentes a su uso durante dos años en las propiedades físico-químicas del agua de lixiviación del suelo Ferralítico en condiciones de laboratorio.

Novedad científica.

Se demuestra que la aplicación de Liplant en bajas concentraciones aporta una alternativa ecológica viable, para incrementar con mayor eficiencia, la productividad biológica y agrícola del cultivo de tomate y a su vez, en su uso en el sistema productivo de una finca junto a otras medidas de manejo ecológico, favorece el mejoramiento de la fertilidad y la conservación del resto de las propiedades de suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados con la preservación de las aguas de lixiviación; haciendo un uso racional de los residuos naturales del agroecosistema, lo cual contribuye a su sostenibilidad, brindándole un valor práctico a la investigación.

Adquiere una importancia teórica pues constituye un primer informe de evaluación integral de los efectos de la aplicación de un producto obtenido a partir de un residuo natural, durante todo el ciclo de un cultivo de interés económico como parte del sistema productivo que permitió valorar otras potencialidades en el mismo, no solo como bioestimulador de las plantas, sino también en la protección y preservación del medio edáfico durante su uso. Metodológicamente aporta un procedimiento de aplicación del Liplant que garantiza el incremento y la eficiencia de la productividad biológica y agrícola del cultivo de tomate, con impactos ecológicos, económicos y sociales. Brindan además un protocolo general con carácter multidisciplinario para la evaluación de los efectos de la aplicación del producto sobre los cultivos y en los componentes de

los diferentes agroecosistemas. Esta información es muy importante para la elaboración de una tecnología racional que favorezca a la productividad sostenible en los diferentes cultivos y los agroecosistemas.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. Sistema Suelo- Aguas de lixiviación-Plantas

2.1. Suelo

El suelo es un cuerpo natural, formado por un sistema de células vivas en una matriz órgano–mineral, variables con el tiempo, lugar y su manejo (Duchaufor y Souchier, 1987). Es un receptáculo final de residuos orgánicos de origen vegetal, animal y productos transformados de estos (Sposito, 2008). Por su naturaleza química es descrito como un sistema abierto y dinámico de gran complejidad (Ortega, 1982). Desde el punto de vista energético lo refieren (Garcés *et al.*, 2009), como un sistema termodinámico, que determina que funcione no solamente como suministro de agua y nutrientes para la vida de las plantas, sino también como redistribuidor y regulador de la mayoría de los flujos importantes de materia y energía con el medio.

El suelo es uno de los principales factores para medir la sostenibilidad de los agroecosistemas (Mata, 2006), siendo un recurso vital renovable a través del tiempo si se explota de manera sostenible (Orellana *et al.*, 2008). Es muy vulnerable al desequilibrio ecológico provocado por factores naturales y humanos (Martín y Durán, 2008). Uno de los efectos fundamentales se presenta cuando difiere las tasas de incorporación de las pérdidas de carbono (Stewart *et al.*, 2008); los que pueden ser responsables de los bajos rendimientos agrícolas (Ponce de León, 2003; Tomazi, 2008).

Hernández *et al.* (2009) y Morales *et al.* (2009), plantearon que las actividades del hombre a través del tiempo y los cambios climáticos paulatinos ocurridos en los últimos 100 años, provocan los llamados Cambios Globales en el suelo. Aseguraron, que en los suelos de Cuba bajo las condiciones tropicales y dentro de estos los Suelos Ferralíticos Rojos que ocupan el 23,6 % y el 70% en la llanura cársica Habana – Matanzas, no están exentos de éstos, los que conllevan a transformaciones en sus características morfológicas, propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo debido al uso inadecuado. Estos autores señalaron a partir de referencias aportadas por el Instituto de Suelos, que en Cuba hay 4,66 millones de hectáreas que representan el 69,6% del territorio nacional con muy bajo contenido en materia orgánica (menor de un 2%), provocados por estas causas fundamentalmente (Alfonso *et al.*, 2007).

Atendiendo a esto, es necesario que el hombre, para llevar a cabo un manejo apropiado del suelo, lo asuma, al tratarlo, como un sistema abierto, complejo y dinámico donde ocurren millones de reacciones; y no solamente como un sustrato productivo. Debe conocer el estado de los componentes del ecosistema (clima, suelo, vegetación, biodiversidad) y sus relaciones antes de su utilización; a fin de realizar un manejo

adecuado, para evitar su degradación y contaminación, de esta forma contribuir a una conservación más adecuada del mismo durante su uso.

2.1.2. Características de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados

En la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández *et al.*, 1999), se plantearon que los suelos del agrupamiento Ferralítico Rojo (FR) se forman por el proceso de ferralitización que consiste en la alteración intensa de los minerales, con lavado de la mayor parte de las bases alcalinas y alcalinotérreas, y parte de la sílice; con formación de minerales arcillosos 1:1 y acumulación de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio. Con predominio de estos minerales en el horizonte B principal ferralítico y pueden alcanzar hasta 10% del tipo 2:1 del contenido total de la fracción arcillosa, con un perfil ABC de color rojo.

El suelo Ferralítico Rojo Lixiviado típico (FRL) forma parte del agrupamiento Ferralítico que se caracteriza porque tiene un perfil AB_tC, donde se manifiesta una lixiviación de arcilla y de hierro, con una acumulación definida en profundidad. Su capacidad de cambio es baja (10 cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹), pH entre 5-5.5 y un contenido de materia orgánica entre 2-3%. La relación C/N se presenta entre 8,5 –10.

Estas propiedades en su mayoría se han transformado con el tiempo de uso y el tipo de manejo utilizado, como en el caso de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados de la provincia Mayabeque, cultivados intensamente y de formas no adecuadas en su mayoría, lo que ha creado fundamentalmente un piso de arado muy compacto, en la parte superior del horizonte B_t, la destrucción de la estructura con bloques cúbicos mayores de 10 cm. Las poblaciones de microbiota total presentan una alternancia en cuanto a sus cantidades presentes en los suelos estudiados. Alcanza densidades aparentes del suelo con un valor que oscila entre 1,17-1,25 kg .dm⁻³, con incrementos del pH de ligeramente ácido a neutro (Morell *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2008). Esto autores describen dentro de su formación el proceso de lixiviación hacia el horizonte B_t (B textural), caracterizado por la textura, estructura y la presencia abundante de sobre escurrimientos arcillosos o cutanes. Criterio este complementado por la distribución de la arcilla por el perfil de los suelos, que diagnostica el horizonte normal argílico, clasificándolos como del Tipo Ferralítico Rojo Lixiviado, dentro del Agrupamiento de suelos Ferralíticos (Hernández *et al.*, 1999), que se puede correlacionar con el suelo Nitisol ferrálico,éutrico, ródico (WRB, 2008).

Por su parte, Orellana *et al.* (2008) y Hernández *et al.* (2011), en correspondencia con los autores anteriores, consideraron la necesidad de realizar el diagnóstico del estado de las propiedades del suelo ante cualquier manejo que se trate de efectuar, al mismo tiempo de evaluar con mayor profundidad los índices que precisen adecuadamente el cambio de las propiedades de los suelos de forma integral, que

conlleven a la degradación de los mismos como resultado de la acción antrópica por la aplicación de productos o tecnologías de mejoramiento.

2.1.3. Indicadores de calidad de los suelos

La calidad del suelo ha sido definida de muchas maneras, como una propiedad dinámica de acuerdo a su uso, y dentro de los límites impuestos por éste y el ecosistema de poder funcionar como la capacidad de los suelos que permite conservar la productividad biológica y la calidad medioambiental; la capacidad de promover las plantas, los animales y la salud humana de manera sostenible a largo plazo (Barrios *et al.*, 2006).

La sostenibilidad del suelo guarda un equilibrio único entre sus factores físicos, químicos y biológicos, la efectividad de diagnosticar la calidad del mismo se debe a las combinaciones de estos factores en indicadores integradores, que reflejen cambios simultáneos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Con este fin, deben ser utilizados de esta forma en los sistemas de monitoreo de la calidad del suelo en períodos de tiempo cortos y/o a largos plazos (Orellana *et al.*, 2008).

En la literatura no se presentan criterios universales para evaluar y monitorear el sistema suelo y las aguas de lixiviación, aunque se han propuesto un grupo de ellos por diferentes autores (Orellana *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2011) para suelos Ferralíticos Rojos (FR) y FR lixiviados, respectivamente. Han encontrado que estos indicadores pueden variar de acuerdo a las características y condiciones en que se encuentre de cada tipo de suelo y el manejo realizado sobre éste.

Estos autores plantearon que el estado de deterioro de degradación, hoy prácticamente irreversible, que presentan los suelos Ferralíticos Rojos (*Ferralsols*) de las Provincias de Mayabeque y Artemisa, Cuba, se ha agravado por no contar con un número de indicadores precisos, sensibles y operativos, específicamente definidos para ellos, que faciliten su monitoreo a pequeña escala y en breve tiempo, y así poder evaluar la calidad del suelo como requisito indispensable para decretar si un agroecosistema es sustentable, lo que exige la selección de determinadas variables edáficas, precisas, sensibles y operativas, para controlar los cambios que se producen en ellos. Propusieron indicadores edáficos e identificaron valores umbrales, a partir de los cuales ocurre una perturbación para medir la sostenibilidad en estos suelos, al evaluar y relacionar distintas variables físicas y químicas de suelo en diversos ecosistemas bajo diferentes manejos. Las variables de materia orgánica, agregados hidroestables, coeficiente de dispersión y coeficiente de infiltración, fueron los indicadores más sensibles a la degradación de suelos FR encontrados por estos autores.

Por su parte, Font (2007) en este sentido realizó un estudio con suelo cubanos: Ferralíticos Rojos Oscuros (Típico y Petroférico), Ferralíticos Rojos (Típicos y Compactados), así como, Pardo Sialítico (Mullido y Vértico), con diferentes manejos. En éste evaluó componentes físicos, químicos y biológicos. Encontró indicadores de variación lenta (dr, Hy, pH, CIC), media (CE, MO, Ca^{2+}/Mg^{2+} , V) y rápida (da, RB, RIC, NR) con los que pudo evaluar la calidad de los suelos con una visión más integral. De estos resultados obtuvo para todos los tipos de suelos y manejos evaluados, como indicadores de mayor sensibilidad a la CE, RB y contenido de MO; permanecen más estables el resto de las propiedades físicas y químicas evaluadas. Para el caso de los suelos Ferralíticos Rojos (FR) estudiados, encontró en el FR típico una mayor incidencia de la materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), capacidad de cambio de bases (CCB), respiración basal (RB) y densidad del suelo (ds).

2.1.4. Microorganismos del suelo

La flora microbiana de un suelo puede variar cualitativamente y cuantitativamente debido a los componentes del suelo y condiciones ecológicas a las que esté sometido. Para viabilizar el estudio de la distribución de los microorganismos en el perfil del suelo y las propiedades de éste se considera como patrón un suelo con baja actividad antrópica, el cual no está influenciando directamente por las actividades prácticas del hombre o no disturbado por un largo período de tiempo que conserve sus propiedades lo más cercana a su estado inicial (virgen). El contenido de la microflora dependerá de las condiciones ecológicas naturales que establecen marcadamente la distribución, tanto horizontal como vertical de los microorganismos en el perfil del suelo (Salmon *et al.*, 2008).

Dentro de los requerimientos básicos de los microorganismos para vivir se encuentran un ambiente favorable con pH adecuado, temperatura apropiada, aireación y condiciones redox propicias, además la humedad requerida, la MOS como fuente de energía: fundamentalmente de carbono orgánico, SH, hidrógeno, oxígeno; nutrientes minerales fundamentales; fósforo, azufre, calcio, potasio, nitrógeno, micronutrientes: hierro, manganeso, magnesio, zinc, cobre, cobalto, molibdeno, níquel, entre otros elementos que actúan como cofactores de las enzimas en el metabolismo microbiano, donadores y receptores de electrones, fundamentales para el crecimiento microbiano (Brussand *et al.*, 2007).

La comunidad microbial del suelo juega un papel importante en la regulación de los procesos de descomposición de la materia orgánica y el ciclaje de nutrientes en el suelo. En esta se destacan las bacterias con mayor abundancia como parte de la biota edáfica y diversidad entre las especies con poblaciones entre 10^8 - 10^9 ufc /g suelo. Dentro de la función de las bacterias está la de ser los principales

agentes de descomposición de la materia orgánica, así degradan moléculas complejas (celulosa, almidón, lignina), constituyen un depósito de nutrientes ya que forma el grueso de la biomasa microbiana, también ayudan a formar los agregados del suelo (Grosbellet et al., 2011), ponen a disposición de los otros organismos los nutrientes mediante la descomposición de la materia orgánica, ya que son responsables de las transformaciones enzimáticas fundamentales. Participan además, en una variadísima gama de procesos que están correlacionados directamente con la fertilidad biológica del suelo. Tales procesos son la mineralización de sustratos carbonados, nitrogenados, azufrados, oxidación de sustancias inorgánicas reducidas como amonio, nitritos, azufre (Grinhut et al., 2007).

Las bacterias heterotróficas exigen una gran cantidad de compuestos orgánicos complejos para el crecimiento que van desde azúcares simples hasta las vitaminas y otros factores del crecimiento. Las bacterias autótrofas se encuentran especies que son capaces de desdoblar mediante complejos sistemas enzimáticos diversas variedades de sustancias de origen orgánico. Por esta habilidad de descomposición de la materia orgánica juegan un papel importante en los procesos formadores de humus en el suelo, así como también en procesos infecciosos ya que existen muchas especies fitopatógenas (Novo, 2009).

Este autor refiere a los actinomicetos con un aspecto similar a los hongos, son saprofitos, desarrollándose en la descomposición de la materia orgánica por lo que dependen de su disponibilidad, siendo susceptibles a su descomposición, (aumentan con el incremento de la MO), no obstante no proliferan hasta que la MO ha entrado en una de las fases finales, no son buenos competidores en el consumo de sustrato fácilmente degradable, si bien usan celulosa y quitina. Constituyen de un 10 – 50 % de la población microbiana total del suelo, son los segundos en abundancia después de las bacterias con poblaciones desde 10^5 – 10^8 propágulos / g suelo (Mayea et al., 1991).

Describen que este grupo de microorganismos como resistentes, después de una sequía los actinomicetos pueden constituir el 30 – 90 % de la población microbiana recuperada. Su crecimiento óptimo es entre los 28 – 37 °C. Los actinomicetos ocupan en condiciones alcalinas (en suelos alcalinos) el 95 % de los grupos microbianos aislados, a valores de pH menor que 5, ocupan un 1 % del total de la población microbiana. Estos microorganismos han recibido una especial atención durante decenios de años debido a que muchas de sus especies tienen la capacidad de sintetizar metabolitos antibióticos para el control de algunas enfermedades bacterianas. Desde el punto de vista agronómico y ecológico, las actividades generales de los actinomicetos en los suelos son de gran importancia y entre ellas tenemos la descomposición de compuestos o residuos resistentes, derivados de plantas y animales, no respondiendo rápidamente a la adición, sino después de varios días o semanas, siendo muy efectivos cuando los

compuestos perduran en los suelo, participan en los procesos formadores de humus, llevan a cabo transformaciones a elevadas temperaturas particularmente en procesos fermentativos de abonos verdes, estiércoles y compost (Andren *et al.*, 2008).

Mayea *et al.* (1991) plantearon a los hongos como un grupo muy amplio, se pueden encontrar en el suelo 10^4 - 10^2 ufc/g suelo. Estos tienen gran importancia en la población microbiana del suelo debido a su papel como patógeno; en la descomposición de residuos vegetales y animales para el aporte de nutrientes y sustancias beneficiosas al ecosistema como es el caso de las micorrizas y rizoforas. Resultan difíciles de estudiar cuantitativa y cualitativamente en el suelo, ya que existen en numerosos estadios morfológicos y fisiológicos. Refieren además, que generalmente los microorganismos son menos numerosos a mayor profundidad, fundamentalmente porque disponen de menor cantidad de materia orgánica para su crecimiento y de oxígeno para su respiración. Por ello también es posible que a niveles más profundos resulte más fácil enumerar estas poblaciones (Nampieri *et al.*, 2003).

Ortega (1982), describe una sucesión de microorganismos durante la descomposición de los residuos vegetales frescos. Son colonizados en primer lugar por las bacterias no esporógenas de rápida proliferación y exigentes desde el punto de vista nutricional de sustancias de fácil asimilación (mono y disacáridos, proteínas, almidón etc.), consumidas con gran rapidez. Junto a estas bacterias se desarrollan también levaduras y otros hongos no micelares, que desaparecen a medida que van disminuyendo estos constituyentes. Más tarde aparecen las bacterias esporógenas, capaces de utilizar componentes más difíciles de atacar y las bacterias celulíticas. Sin embargo, los actinomicetos al cabo del tiempo, comienzan surgir en cantidades apreciables, ya que son capaces de atacar componentes más estables y nutrirse de componentes húmicos que se van formando. Siendo éstos los organismos dominantes al cabo de unos meses de haber comenzado la descomposición de los restos vegetales.

Además de diferir los microorganismos del suelo en su nutrición y también pueden variar en sus respuestas a las condiciones del medio, en consecuencia serán las especies, número, abundancia, distribución y actividad; dependientes tanto de los nutrientes disponibles como del tipo y de las condiciones del suelo que tienen que ver con las prácticas de manejo aplicado, con el objetivo de modificar el crecimiento y desarrollo de las plantas

Por lo que en términos de calidad del suelo, los microorganismos constituyen la cualidad de funcionar dentro de un ecosistema para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental. Son altamente sensibles al disturbio del medio ambiente, siendo indicativos de los cambios del mismo, ya que

media más del 80-90% de los procesos del suelo y son usados como diagnóstico de las alteraciones de las condiciones del suelo (Asuming –Brepong *et al.*, 2008).

Estos autores plantearon que las propiedades bioquímicas del suelo pueden ser estudiadas en tres niveles diferentes: las poblaciones microbianas, las actividades bióticas y las propiedades envueltas en la transformación de la MOS y los nutrientes que ciclan, siendo estos últimos mucho más relevantes aún. Aseguran, que el comportamiento de la actividad biológica depende de un complejo de interacciones físicas y químicas regidos por la calidad de la MOS.

Morrell *et al.*, (2008), al estudiar suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados en la provincia de Mayabeque no apreció un patrón definido de comportamiento en la distribución microbiana de acuerdo al grado de degradación del mismo; encontró irregularidades en la presencia o distribución de la microbiota nativa en los suelos estudiados.

Resultados que se corresponden con estudios realizados en suelos cubanos (Martínez *et al.*, 1982; Morales *et al.*, 2008) y para otros tipos de suelos (Postman *et al.*, 2008). Todos ellos encontraron que la distribución microbiana está estrechamente relacionada con la cantidad y calidad de la materia orgánica presente en los suelos con manejos diferentes y en la medida en que interviene la acción antrópica cambia la biodiversidad general del agroecosistema.

Autores como Zhang *et al.* (2006) describen diferencias en la composición y función de la comunidad microbial del suelo por la fertilización orgánica. Refieren que el suelo puede aportar microorganismos que producen una rápida liberación de nutrientes desde los residuos orgánicos aplicados, los que lograrían incrementar el suministro de nutrientes y servir de fuente de energía.

En este proceso se produce un efecto conocido como “*priming*” donde se estimula la actividad microbiana entre los primeros 15-25 días después de la adición de residuos orgánicos, de fertilizantes minerales, fungicidas, herbicidas, materiales orgánicos, compost, vermicompost, lodos de residuos domésticos y compuestos húmicos a los suelos; lo que provoca la aceleración de la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Como resultado podría activar la población microbiana y su actividad biológica, lo cual generaría una transformación acelerada de la materia orgánica, lo que puede ser más peligroso en los suelos tropicales y subtropicales donde por lo general la microflora mantiene un nivel de actividad elevada por la existencia de temperaturas y humedad favorables para la mineralización. Bingrui Jía y Zhou (2009) y Peng *et al.* (2009), identificaron los factores principales que pueden controlar la respiración microbiana del suelo, las que son importantes para reducir las pérdidas de carbono del ecosistema terrestre a largo plazo.

Por su parte, Stewart *et al.* (2009), encontraron respuestas muy variables en la respiración microbiana de los microorganismos del suelo ante los disímiles tratamientos con diferentes tipos de fertilizantes (orgánico, mineral o combinación de ambos, compost, vermicompost), no observaron una tendencia clara. La actividad microbiana dependiente del tipo y cantidad del sustrato presente en el medio, condiciones del ecosistema (clima, temperatura del suelo), disturbio humano. Modificaciones en la magnitud de la respiración del suelo que pueden tener un efecto intensificador en la evolución del CO₂ hacia la atmósfera (Chen *et al.*, 2007); Mo *et al.*, 2008).

Rodríguez *et al.* (2007), refirieron métodos utilizados para evaluar la actividad microbiana vistos generalmente en términos metabólicos, uno de ellos a través de la actividad respiratoria de los microorganismos inducida por adición de sustratos y determinado por valoraciones por retroceso. Argumentan la medida de la población microbiana mediante conteos por microscopía como indicadores utilizados para estudiar dicho comportamiento del suelo. Estos autores señalaron que la respiración basal es un índice de actividad microbiana potencial básica endógena, siendo un indicador directo y temprano de la actividad microbiana y de los cambios que se producen en el medio edáfico, muy efectivo para monitorear la estabilidad de los componentes orgánicos. Fundamentaron su gran importancia en la valoración de la calidad de los suelos y que la respiración del suelo puede ser medida en el campo en condiciones naturales y en el laboratorio en condiciones controladas o semicontroladas, que dependerán del objetivo del experimento a ejecutar. Los primeros menos difundidos por obtenerse menor reproducibilidad de los resultados bajo estas condiciones.

2.1.5. La Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica del suelo (MOS), representa un sistema complejo de sustancias, heterogéneo y metabólicamente activo (Marinari *et al.*, 2007), no uniforme que sufre procesos irreversibles o de equilibrios aparentes, pues su formación y acumulación ocurre en un sistema abierto que puede intercambiar constantemente masa y energía (Garcés *et al.*, 2009). Su dinámica es gobernada por la incorporación de residuos orgánicos de diversa naturaleza y por una transformación continua (Zaccheo *et al.*, 2006). De esta forma, engloba los residuos vegetales en estadios variados de descomposición aportados por la naturaleza, la biomasa microbiana, de la macrofauna y las fracciones más estables conocidas como sustancias húmicas; y por las incorporaciones que realiza el hombre mediante enmiendas, pesticidas y otras sustancias orgánicas (Guridi, 2000). De tal forma, que un suelo bajo vegetación natural es considerado de alta calidad, pues guarda un equilibrio entre las propiedades bioquímicas, biológica del suelo y el contenido de MOS no disturbado (Chaen *et al.*, 2009).

Todos los procesos dinámicos de transformación evolutiva de la MOS pueden ser fácilmente modificados por alteraciones ambientales provocados fundamentalmente por el uso antrópico del suelo, conduciendo a desequilibrios por las pérdidas de humus en el tiempo, lo que puede ser de gran desventaja sobre todo en las regiones tropicales y subtropicales (Hernández *et al.*, 2011). Entre los factores que pueden afectar el nivel de la MOS exponen al mineral original, el tiempo, el clima, la topografía, la vegetación y la actividad humana. Ella juega un rol esencial en el mantenimiento de la calidad del suelo y la dinámica de los ecosistemas. Del contenido y calidad de la MOS depende la fertilidad, la productividad del ecosistema del suelo y su funcionalidad ecológica puede evaluarse sobre la base de la dinámica y la actividad microbiana de la MOS (Kononova, 1966), siendo un atributo importante para la sostenibilidad del mismo. Manlay *et al.* (2007) plantearon a la materia orgánica del suelo como un indicador universal (físico, químico y biológico) de los cambios que se producen entre los sistemas, pues interviene en la mayoría de las reacciones que ocurren en el suelo como principio y fuerza que dirige su fertilidad. Este significado particular de la MOS para la fertilidad del suelo, está dado por su influencia en gran parte de las propiedades como la capacidad de intercambio catiónico, retención de humedad, dada por la absorción de moléculas de agua por el elevado número de grupos funcionales que posee esta. Tiene además efectos en la agregación y coeficiente de dispersión de las partículas, tipo y estabilidad estructural, densidad aparente, porosidad total y de aeración del suelo (Orellana *et al.*, 2008). Estos autores plantearon además que participa en el desarrollo y activación de la actividad biológica, contenido y distribución de nutrientes en el mismo, fundamentalmente el nitrógeno y el fósforo. Favorece al aumento de la conductividad hidráulica del suelo como consecuencia de los espacios vacíos que se forman en la interfase entre las partículas minerales y orgánicas, contribuye a reducir las pérdidas de suelo por erosión gracias a su capacidad de cohesionar las arcillas, beneficia al mantenimiento de las temperaturas constantes en el suelo más que la fracción mineral debido a su coloración (Martin y Durán, 2008). Otros efectos positivos de la MOS es su alta capacidad de adsorción debido a los cambios conformacionales que sufre a diferentes valores de pH. Su reactividad, efecto agregante de la macromolécula, solubilidad y formación de la doble capa difusa eléctrica, sus dimensiones (gran relación área: volumen de la partícula), determinan sus propiedades coloidales, responsables de su comportamiento físico-químico en los sistemas (Santos y Camargo, 2008).

La MOS constituye la principal fuente de electrones para las reacciones de oxidación –reducción que ocurre en los suelos, mediados por los grupos funcionales oxigenados y quinonas presentes en ella. Estas propiedades redox de la MOS están correlacionadas directamente con la fertilidad del suelo y sus propias características (Ratasuk y Nanny, 2007).

Los procesos de erosión del suelo provocados por las aguas de drenaje afectan los agregados, esencialmente enriquecido con C lábil, es altamente selectiva a las formas más activas del C orgánico y expone formas de fácil mineralización (Marchao *et al.*, 2009).

En los estudios a largo plazo realizados por Stewart *et al.* (2008; 2009), de tratamientos de adición de C no mostraron un equilibrio entre los niveles de C adicionados y los encontrados de COS. Encontraron que el contenido de C recibido se satura con respecto a la entrada de C en el equilibrio. Plantearon la existencia de un límite de estabilización del C agregado en el suelo. Esto depende de la conducta de las cuatro formas del pool de C: sedimentos y arcilla protegida, microagregados del suelo protegido, pool protegido bioquímicamente y el de C no protegido.

El decrecimiento y destrucción de la MOS en los ecosistemas es preocupante, fundamentalmente en los trópicos. Lo que hace necesario proporcionar información de la evolución de la MOS, la cual comprende transformaciones (mineralización y humificación), ocurridas desde la incorporación de la MO fresca hasta la formación de las fracciones humificadas más estables: MO fresca, MO poco transformada, compuestos fenólicos solubles, moléculas simples y sustancias húmicas, hasta pasar a CO₂, más el C incorporado a la masa microbiana (Hernández *et al.*, 2011). Las prácticas de manejo orgánico (introducción de compuestos orgánicos) y MOD tienen efectos contrastantes en las propiedades del suelo y en la MOS nativa causados por procesos complejos que ocurren simultáneamente entre los sistemas involucrados, por lo que durante su extensión deben realizarse monitoreos de sus efectos durante su uso continuado (Scelzun *et al.*, 2008). De este modo la adaptación del sistema de uso y manejo del suelo debe llevar entre otros condicionantes el efecto sobre la MOS, y sus fracciones húmicas, debido a su papel en el mantenimiento de la calidad del suelo (Rosquete, 2012).

2.1.5.1. Las sustancias húmicas del suelo

El humus es la fracción dominante dentro de la MOS por lo que se considera casi equivalente a ella siendo importante analizar y controlar su dinámica ante cualquier manejo del suelo (Rosa *et al.*, 2008). En muy pocos trabajos se consideran a las sustancias húmicas (SH), como un proceso continuo de transformación de diversas formas de carbono en el ambiente, las cuales pasan por un estado de equilibrio relativo durante un tiempo que puede ser prolongado.

Garcés *et al.* (2009) aseguraron, que su origen se debe a la descomposición química y microbiana que actúa sobre los residuos fundamentalmente de plantas y animales. Plantearon que los procesos de humificación y acumulación de la MOS son procesos que evidencian la existencia de vida en el planeta, los cuales se producen de manera espontánea e irreversibles ($\Delta G < 0$ y $\Delta S > 0$).

Kononova (1986) lo refirió como un proceso que se manifiesta en todos los suelos, las aguas y en ecosistemas particulares que reúnan las condiciones apropiadas, de gran complejidad, que involucra procesos de degradación, descomposición y formación de nuevos compuestos a partir de los residuos orgánicos por reacciones de oxidación, deshidratación, hidrólisis, descarboxilación y condensación, bajo el efecto de agentes bioquímicos, compuestos químicos, y la energía que ingresa al suelo por varias vías, dan lugar a un sistema de compuestos específicos muy estables de elevada masa molar. Éste depende grandemente de la acción de los microorganismos del suelo, y por tanto de las condiciones biológicas y físico – químicas del medio ambiente y varían cuando estos se modifican.

Garcés *et al.* (2009), realizaron un análisis de la evolución de la energía a lo largo del proceso de humificación a partir del punto de vista entrópico. Describen moléculas iniciales, que se degradan y transforman con cierta rapidez, hasta estructuras moleculares más simples, y con eso, el proceso adquiere una entropía positiva. Seguido de un proceso de reorganización, mezcla y reacomodo para lograr una mayor estabilización de las SH (con una composición diversa y mixta en relación a las originales). Plantearon también una etapa de semi-equilibrio, donde ocurre la estructuración compleja de las SH, con la tendencia de los valores de la entropía a cero, alcanzando un equilibrio relativo donde comienza el proceso de mineralización o destrucción (E), liberando centenares de componentes a través de un proceso espontáneo e irreversible, durante el cual la entropía vuelve a aumentar. La mayor aglutinación de los micro-agregado, corresponde a una mayor tendencia de la estabilidad con $AG < 0$ y $AS > 0$. Explicar la estructura de las sustancias húmicas (SH) es el tema más controvertido en el estudio de estas sustancias en los últimos años. En la actualidad no consta una única identidad estructural química para estas sustancias, que varían de un ambiente a otro, siendo de gran heterogeneidad. Existen varias escuelas que proponen diversos modelos para explicar su modo de acción, pero hasta el momento no existe un modelo estructural totalmente acertado (Tomazi, 2008). En muy pocos trabajos son descritas las SH como un proceso de continua transformación de diversas formas del C en el ambiente. Stevenson (1996), las planteó como una evolución continua por incremento de la intensidad de color, del grado de polimerización, de la masa molecular, del contenido de C; con una disminución del contenido de O, acidez intercambiable y solubilidad. De tal manera, que sus efectos tanto en el suelo como en las plantas aun son explicados a través de mecanismos de modo de acción que todavía no se encuentran justificados en su totalidad (Muscolo *et al.*, 2007a). Canellas, (2005) planteó que por tales motivos las SH no pueden particularizarse en modelos estructurales discretos y mucho menos para su estudio de su función en el ambiente. Describe dentro de los más aceptados por los investigadores, la estructura macromolecular basada en su naturaleza

polimérica que puede explicar propiedades como su composición elemental, acidez intercambiable, propiedades ópticas y de polielectrolitos, polifuncionalidad, enlaces con minerales, acomplejamiento de metales y masas moleculares que varían de acuerdo al material de origen y a las condiciones de extracción.

Esto determina que exista en la literatura discrepancia en los rangos de masas molares de las tres fracciones en que usualmente se clasifican de acuerdo a su solubilidad en agua a diferentes valores de pH: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) y huminas (H). Los AH son insolubles en medio francamente ácido ($\text{pH} < 2$), AF son solubles a cualquier valor de pH y las H (constituyen el 50% de la MO), insolubles a cualquier valor de pH (IHSS, 2008). Estas evolucionan de AF, AH a H con el aumento de la intensidad del color de amarillo a marrón oscuro (Stevenson, 1994), según el proceso descrito con anterioridad.

Trevisan *et al.* (2010) citaron autores (De Haan *et al.* 1987; Wershaw, 1993; Engebretson y Wandruszka, 1994, 1997; Nardi *et al.* 1998; Atkins, 1998; Piccolo, 2002) que describieron macroestructura como constituyente de las SH; donde las propiedades son derivadas de asociaciones de pequeñas especies moleculares con estructura micelar, agregado globular de moléculas anfifílicas (grupos hidrófilos forman el interior de la micela y los hidrofílicos forman la parte exterior de la misma), con asociaciones con moléculas no polares como ácidos grasos, largas cadenas alifáticas de hidrocarburos, ésteres y similares a suberina. Estos autores enunciaron además, como el resultado de la naturaleza asociativa de las SH, se concibe a la luz del modelo micelar (Piccolo, 1997, 2003), con una estructura supramolecular, originada de la agregación a partir de la penetración de pequeñas moléculas de ácidos orgánicos dentro del núcleo hidrofóbico de la micela, formando agregados de elevada masa molecular. Señaló evidencias experimentales (Simpson, 2002), utilizando técnicas de avanzadas (RMN bidimensionales y con difusión de campo), observaron la variación de los agregados con la adición de ácidos orgánicos. Según estos autores estas sustancias pueden movilizar subunidades estructurales de las SH que pueden poseer actividad hormonal. Citó trabajos (Atiyeh *et al.*, 2002), donde se expresa que el modelo supraestructural es útil para describir el comportamiento ambiental de las SH, como los efectos que ejercen sobre los organismos vivos, específicamente sobre el metabolismo de las plantas.

Las SH consideradas ya sea como un macropolímero o como una micela presentan un comportamiento coloidal poco compatible con la elevada estimulación en sistemas enzimáticos e inclusive inducción de genes en plantas (Quaggiotti *et al.*, 2004). En este sentido, las sustancias húmicas (SH) comprenden una mezcla compleja de sustancias físicamente heterogéneas, polidispersas y amorfas, las cuales presentaron una alta masa molar con gran número de grupos funcionales que contienen oxígeno, que reflejan cierta

resistencia al ataque y degradación por los microorganismos del suelo de acuerdo con lo citado por García-Mina (2000).

Al respecto, Garcés *et al.* (2009), expusieron que los AH representan una fracción más estable termodinámicamente que los AF, su formación conlleva a un incremento de la entropía, una vez formado el enrejado supraestructural (formación del agregado).

Trevisa *et al.* (2010) destacaron que en la estructura de las sustancias húmicas para entender sus efectos se acentúan características como:

- Polifuncionalidad: (existencia de varios grupos funcionales: -COOH, -OH fenólicos y alcohólicos, -C=O de aldehidos y cetonas, quinonas y grupos -NH₂ de compuestos aromáticos y alifáticos, con un amplio espectro de reactividad, característico de mezclas heterogéneas de polímeros que interactúan entre sí).
- Hidrofobicidad: (tendencia de formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, solvatando grupos funcionales polares como -COOH y -OH); carga molecular (desarrollo de carácter aniónico en la estructura macromolecular y consecuentemente, efecto en la reactividad de los grupos funcionales y en la configuración molecular).
- Flexibilidad estructural: (capacidad de asociarse intermolecularmente y cambiar de conformación molecular en respuesta a variaciones de las condiciones del medio como el pH, de la fuerza iónica, la concentración y de los enlaces de los grupos funcionales).

Son numerosos los estudios y revisiones realizados relativo a los efectos de las sustancias húmicas sobre el desarrollo vegetal, citados por García-Mina (1999a); Maylew (2004); Nardi *et al.* (2009). Donde se plantearon efectos directos que corresponden a la acción de las sustancias húmicas mediante la bioestimulación de los distintos procesos fisiológicos-bioquímicos de distintas especies de plantas, y efectos indirectos que se deben a la acción de las sustancias húmicas sobre el sistema global (planta-suelo), como puede ser la nutrición mineral de la planta, actividad microbiana del suelo, la humedad, y textura del suelo, encontrándose estos dos grupos como una unidad indisoluble, pues un efecto conlleva a otro.

Los efectos de las SH sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas han sido extensamente estudiados, incremento en la longitud del tallo, raíz, hojas, masa fresca y seca, contenido foliar y de los frutos, tamaño y calidad de los mismos; así como el aumento de los rendimientos en las cosechas (Trevisa *et al.*, 2010).

Estudios realizados a nivel fisiológicos (Canellas *et al.*, 2008b) sugirieron que la eficiencia de la absorción de los nutrientes y su utilización por las plantas, sobre la base de la acción directa de las SH en la modificación de la actividad metabólica de las plantas que favorecen el crecimiento y desarrollo del sistema

radical, modificando su arquitectura (incremento del largo, números de pelos radicales con incremento del área radical, número de sitios de mitosis, mayor capacidad de producción de biomasa).

Efectos que van acompañados de una estimulación de la síntesis y actividad de la enzima H^+ - ATPasa, que llevaría además al incremento de la expansión celular y participación en eventos de señalización vía modulación, de canales dependientes de potencial de membrana, comportándose en este contexto las moléculas de AH como reservorios interactivos de moléculas con actividad auxínica, capaces de interactuar química/ bioquímicamente con las raíces (Zandonadi, 2005).

Por lo que estos cambios fisiológicos han sido relacionados (Facanha *et al.*, 2002; Canellas *et al.*, 2010), al trabajar con AH aislados de vermicompost, como una acción de las SH fundamentalmente de tipo "like auxínica" dependientes de la vía de traducción de la señal auxínica. Plantearon que además de estas acciones no se debe descartar que indirectamente las SH puedan favorecer los procesos de absorción de iones mediante la formación de complejos organometálicos solubles (Sachs *et al.*, 2011).

Estos efectos de las sustancias húmicas de diferentes orígenes sobre el crecimiento de las plantas se han encontrado independientemente de la nutrición, o sea a través de efectos fisiológicos directos sobre el metabolismo de las plantas (Muscolo *et al.*, 2007b). Como en diversos procesos bioquímicos a nivel molecular, que implicarían la asimilación o transporte de los compuestos húmicos al interior de las células de las plantas, plantearon la posibilidad de su acción a nivel de membrana celular, sobre enzimas en concreto que generen algún tipo de mensajero interno responsable de las diferentes acciones observadas sobre distintos sistemas bioquímicos, procesos metabólicos intracelulares.

En estudios realizados por (Führ y Sauerbeck, 1967; Vaughan y Linehan, 1976; Vaughan y Ord, 1981; Visser, 1986; Nardo *et al.*, 1996,1999), referidos por García – Mina (1999b), con sustancias húmicas marcadas con ^{14}C se ha constatado que éstas tienden a acumularse en la raíz y más concretamente en las células de la epidermis radical y únicamente pequeñas fracciones llegan a la parte aérea. En trabajos de estos autores y los más recientes (Canellas *et al.*, 2010; Pintor *et al.*, 2011) observaron que las fracciones de menor masa molecular eran transportadas al interior de la raíz mediante un mecanismo que parecía controlado metabólicamente (proceso activo) y los ácidos de masa molecular mayor se asimilaban en menor proporción mediante un mecanismo pasivo.

Investigaciones llevadas a cabo entre las que se encontraron las de Quaggiotti *et al.* (2004), Steinberg *et al.* (2008), pusieron de manifiesto la influencia de los compuestos húmicos en los procesos metabólicos intracelulares, estimulación de la síntesis de ATP, ácidos nucleicos, efectos selectivos en la síntesis proteicas, proceso de respiración, velocidad de reacciones enzimáticas del ciclo de Krebs. Demostraron

que diferentes microorganismos del suelo son capaces de utilizar las SH como aceptores de electrones en los procesos de oxidación de compuestos orgánicos y en consecuencia en los procesos de respiración.

Estos autores describen además, incremento e inhibición de la actividad de diversas enzimas, la fotosíntesis, específicamente en la producción fotosintética de oxígeno, con la participación en las reacciones químicas que dan respuestas ante el estrés de la planta, atribuida a un comportamiento tipo "like-hormone".

Al respecto, Muscolo *et al.* (2007b) encontraron analogías entre la acción de las SH y las reguladoras del crecimiento como las giberelinas, citoquininas y en particular la auxinas. Quaggiotti *et al.* (2004), detectó la presencia de estructuras equivalentes al AIA en diferentes fracciones de SH. Además demostraron que esos componentes de baja masa molecular tienen efecto post- transcripcional sobre la síntesis proteica y de hecho tienen un efecto benéfico sobre la estabilidad de los mARNs de la raíz, similar a lo descrito para la sitoquininas sobre el mARN.

En correspondencia, Zaller (2006), señaló analogías entre la acción de las sustancias húmicas y diferentes reguladores de crecimiento como giberelinas, citoquininas, auxinas, ligándose a aceptores celulares específicos. Además de constatarse actuaciones sinérgicas que parecen estar relacionadas con un efecto de las sustancias húmicas en los procesos metabólicos que gobiernan la concentración activa de estos reguladores en el interior de la planta.

Otra posibilidad de acción de las SH sería derivados de una acción enzimática a nivel de membrana, lo cual generaría algún tipo de mensajero interno o fragmento activo, responsable de la diferentes respuestas encontradas sobre los distintos sistemas bioquímicos y procesos metabólicos intracelulares, correspondiéndose a una acción de tipo hormonal de la SH (Quaggiotti *et al.*, 2004).

Según lo expresado por Kalbitz *et al.* (2009), otro elemento a considerar en el impacto de las sustancias húmicas en las plantas es su actividad catalítica, siendo mayor para los ácidos fúlvicos. Incrementos en la concentración de los AH (hasta 50 mg.L⁻¹), también favorece la velocidad de las reacciones, aunque a concentraciones mayores la decrecen, lo que se debe a la posibilidad de que las SH se asocien con moléculas orgánicas de baja masa molar, debido a los grupos hidrofóbicos que las forman.

Canellas (2005), cita a Piccolo *et al.*, 1996 los que expresaron que entre los efectos de las SH se encuentran la mejora de la estructura – textura del suelo, provocando también la mejora de los procesos de transpiración – respiración en la rizósfera de la planta, derivados fundamentalmente de la formación de complejos coloidales de naturaleza arcillo-húmica asociada a fenómenos de floculación y agregación

edáfica, así como la presencia de estos procesos de formación de complejos entre los diferentes cationes, fundamentalmente Fe (III). Señalaron que efectos dependen de las dosis utilizadas y la procedencia (propiedades físico-químicas) de los compuestos húmicos.

Por su parte Grinhut *et al.* (2007) plantearon criterios que evidencian la capacidad de los compuestos húmicos de estimular significativamente el desarrollo de numerosos microorganismos en el medio edáfico, las que parecen estar implicadas en la nutrición, así como efectos directos sobre su fisiología básica.

Expusieron además en correspondencia con lo planteado por la literatura especializada que estos efectos dependían de la concentración, fundamentado por la relación dosis – efecto y de las características físico-químicas de las sustancias húmicas aplicadas foliarmente. Refieren que se encontraron incrementos en la asimilación de macronutrientes (P, N, K) y micronutrientes en plantas y diferentes tipos de suelo, con la aplicación de disoluciones a bajas concentraciones de SH con la capacidad de los compuestos húmicos para inhibir las reacciones de retrogradación de fósforo soluble en distintos tipos de suelo, aumentando significativamente la nutrición de éste y su contenido en los suelos.

Efecto posible, pues el compostaje y el vermicompostaje son vías que garantizan el destino apropiado del ciclaje de residuos orgánicos, utilizados como prácticas para acelerar la estabilización de la MO de los residuos orgánicos (Hargreaves *et al.*, 2008). Son alternativas manejadas como condicionantes del suelo en la mejora de sus propiedades físico-químicas y biológicas a corto y largo plazo, muy eficientes en el ciclaje de nutrientes, pues modifica la dinámica de su disponibilidad contenidos en ellos al ser incorporados como sistemas sostenibles durante largo tiempo (Spaccini y Piccolo, 2009).

Dentro de los resultados favorables proporcionados durante su aplicación se encuentran: mejora la calidad de la MOS (Barral *et al.*, 2009), en cuanto al estatus de la MO humificada, específicamente en la calidad de los AH endógenos (Campitelli y Ceppi, 2008); incremento de la humedad del suelo por la retención del agua en el mismo; aumento del contenido de P, K, Ca, Mg con la mejora de la capacidad de intercambio catiónico (FlieB batch *et al.*, 2007), y el pool de C orgánico del suelo; favorece la inducción de la mineralización de compuestos biolábiles, además de sus propiedades de actuar como buffer, ante pequeñas modificaciones del pH del suelo (Pertusatti y Prado, 2007).

Brant *et al.* (2006), obtienen respuestas de la población microbial (contenido, distribución y composición) después de largo tiempo de aplicación encontraron modificaciones en la actividad microbial al aplicar estos compuestos. Birkhofer *et al.* (2008), al utilizar durante tres años seguidos composta de residuos de tratamiento de agua residual se incrementó la relación de C_{AH}/C_{AF} , lo que incidió en la calidad del humus.

Sin embargo, Adani *et al.* (2007) refirieron trabajos donde se demostraron que las aplicaciones de estos productos deben ser controladas en su uso a través del tiempo. Estudiaron que el efecto de la adición de vermicompost de estiércol vacuno en su utilización continuada en las fracciones humificadas de la MOS y los incrementos en las dosis provocaron disminuciones en el contenido de AH y huminas, tornándose susceptibles al ataque microbiano producto de su desestabilización.

Se corresponde con trabajos realizados por Kirchmann *et al.* (2007), los cuales después de la aplicación orgánica de forma continuada durante 18 y 40 años, encontraron alteración en el contenido de C orgánico del suelo indígena que formó parte del C mineralizable que se incrementó con los años de aplicación.

Por su parte, Canellas (2005) cita trabajos donde la aplicación continuada de compost equivalente a 80 ton/ha promueven un incremento en el contenido del CAF, lo que determina una disminución de la calidad del humus, limitando su utilización a largas escalas.

La aplicación de lixiviados de compost, vermicompost y de SH extraídas de éstos, provocan los efectos semejantes en el suelo y en la bioestimulación de las plantas descritos anteriormente para las SH de diversos orígenes (Elena *et al.*, 2009; Marchao *et al.*, 2009). Se han recuperado áreas degradadas con la aplicación de sH de Vc a las plantas (Popova *et al.*, 2008; Dobbss *et al.*, 2010).

Por su parte D`Liñan (2010) en el Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales presenta diferentes productos extraídos de MO humificada de diferentes orígenes (vegetal, lignito, leonardita, turba, estiércol, compost y vermicompost), que al aplicarlos a las plantas foliar o por fertirrigación con las aguas de riego en su utilización continuada, mejoran las características físico- químicas y biológicas del suelo a la vez que equilibran la solución nutritiva de este, permitiendo la disponibilidad de más nutrientes en forma asimilables para las plantas. También plantea que favorecen el desarrollo radicular foliar con mejores resultados productivos en los cultivos.

Autores como Guridi (2000), Garcés *et al.* (2006), Huelva *et al.* (2006); Gutierrez-Micele *et al.* (2008), Calderin, 2010); verificaron los efectos positivos de AH extraídos de vermicompost de estiércol vacuno y sus lixiviados al aplicarlos sobre diferentes cultivos, con el incremento del largo de la raíz y el área foliar.

Este primer autor verificó que se incrementaron la actividad hidrolítica de la ATP en vesículas de membranas obtenidas de las raíces de tabaco. Calderin, (2010), en arroz sobre la actividad de la peroxidasa.

Por su parte, Huelva, (2004) en este mismo cultivo demostraron que la aplicación foliar de AH y AF extraídos del vermicompost de estiércol vacuno logra incrementar la masa foliar, el contenido de pigmentos fotosintéticos y proteínas, con la disminución del contenido de carbohidratos reductores. Se corresponde los trabajos de Hernández (2010) al aplicar extractos de AH de vermicompost al cultivo de la col (*Brassica oleracea capitata* B.). Facanha *et al.* (2002) encontraron que los AH aislados de vermicompost pueden inducir la actividad de la H⁺ - ATPasa de la membrana plasmática y el desarrollo de las raíces de diferentes hortalizas.

Canellas *et al.* (2010), describen específicamente esta actividad hormonal en el desarrollo de raíces laterales, donde la inducción de la actividad de la H⁺ - ATPasa resulta del incremento del contenido de esta enzima. Estos autores al realizar aplicaciones continuadas a largos intervalos encontraron efectos positivos en las plantas y una residualidad en el suelo más eficiente a partir de los cuatro años.

Estudios realizados por Calderin *et al.* (2012) sugieren la actividad bioprotectora de las SH por presentar potencialidades para producir mecanismos de defensas en las plantas que están sometidas a estrés biótico y abiótico, proporcionando respuestas adaptativas superiores. Las plantas pueden expresar mecanismos de respuestas que alcanzan el mantenimiento de la estabilidad de la membrana y la elevación de la ERO, mediante la producción de antioxidantes y la inducción de proteínas Kinasas y Kinasas de Ca²⁺, así como una activación transcripcional (regulada a nivel molecular) en plantas que tienen la capacidad de tolerar un estrés (Wahid *et al.*, 2007). Estos autores, involucran la activación de un sistema de defensa. Especies reactivas de oxidación (ERO), enzimáticos: CAT, Pox, SOD, GR, como los primeros en responder ante un daño por especies oxidativas como O₂⁻, H₂O₂, OH⁻, ROOH, RO⁻, ROO⁻; como no enzimáticos se encuentra el GSH, ascorbato (vit. C), vit. E, Carotenoides.

La hipótesis del efecto de las SH se sustenta en que pueden aportar estructuras a las plantas que pueden funcionar como aceptores / donadores de electrones y por tanto modificar los mecanismos oxidativos de defensa, así como posibles efectos miméticos con las hormonas vegetales (Ramos, 2000).

2.1.5.2. Caracterización de las MOS y las SH

La caracterización de la MOS es muy compleja debido a su alta heterogeneidad estructural, caracterizadas por su baja solubilidad y fuertes interacciones físicas y químicas entre sí y con la fracción mineral, por lo que para el estudio de las SH, es necesaria su purificación y fraccionamiento (Garcés, 1987). Este autor describe las mediciones espectroscópicas en las diferentes regiones del espectro electromagnético tienen una amplia aplicación en el estudio de MOS y las SH, siendo lo más atractivo de estos métodos que no son

destruictivos, requieren de poca cantidad de muestra, experimentalmente sencillos y no requieren de manipulación especial.

Entre las técnicas espectroscópicas más difundidas se encuentra la espectroscopia de absorción Ultravioleta-Visible (UV-Visible) y la Infrarroja (IR), al ser menos costosas. En los métodos de análisis estructural de SH hoy en día son incorporados los estudios basados en técnicas espectroscópicas por ser una herramienta de validez para obtener información de la elucidación estructural de muchas moléculas que permiten la interpretación de sus propiedades, entre las técnicas más utilizadas se encuentran la espectroscopia ultravioleta (UVis) y la infrarroja (IR) entre otras.

La espectroscopia UV-Visible en el estudio de las SH, ha sido utilizada para poder discriminar diferencias en su reactividad, origen, tamaño molecular, y grado de humificación y los efectos del manejo sobre la calidad de estas. El espectro de absorción obtenido para las SH, independientemente de su origen, se caracteriza por no presentar máximos definidos, de modo que la absorbancia decrece monótonamente con relación a la longitud de onda (Amir *et al.*, 2008). Los parámetros más importantes obtenidos en la espectroscopia UV-Visible aplicada al estudio de las SH son: longitud de onda de máxima absorción (λ_{\max}) y la absortividad (E) que se puede obtener mediante la ley de Bouger-Lamber-Beer (Dobbss *et al.*, 2010).

Estos autores plantearon que de manera general para el estudio de las SH de diferentes fuentes es común utilizar la relación de los coeficiente ópticos E_4/E_6 que resulta de la relación entre la absorbancia medida a 465 nm y a 665 nm. Esta relación tanto para AH como para AF se ve afectada por el pH, el tamaño de partícula o peso molecular, la concentración de radicales libres, contenido de O, H, $-\text{CO}_2\text{H}$, acidez total y la concentración de grupos cromóforos y auxocromos, ofreciéndonos información acerca del grado de humificación relacionados con los parámetros absortivos

En los AF los valores de la relación E_4/E_6 son relativamente mayores (entre 7 y 12) que en los AH (entre 2 y 6), indicando menor grado de humificación y justificando la coloración menos oscura que en los AH y de mayor reactividad (Ortega, 1982; Garcés, 1987; Da Costa *et al.*, 2007). El otro parámetro importante es el máximo de absorción a 280 nm, puesto que cuanto mayor sea el mismo, indica mayor número de grupos aromáticos condensados. Canellas (2005) planteó que la absorción entre 260-280 nm es debido a grupos de lignino y quinona, por lo que sus valores altos reflejan un material con mayor grado de aromaticidad y grupos condensados por su parte absorbancias entre 460-480 nm es indicativo de un material con baja humificación, las absorciones a 600-700 nm es indicativo de un material con alto grado de aromaticidad.

En trabajos de monitoreo medio ambiental para valorar la calidad del suelo (Carballo *et al.*, 2008) las técnicas de la Espectroscopia Infrarroja (IR) son muy utilizadas pues soluciona a bajo costo y en corto

tiempo la determinación de propiedades físicas, químicas y biológicas de la MOS además de sus funciones, una rica información es la caracterización química estructural de estas sustancias, no solo acerca de los grupos funcionales presentes en la estructura de las SH, sino también de la disposición específica de los mismos.

Esta técnica brinda información cualitativa de grupos funcionales como R-COOH, OH-R fenólico, OH-alcohólico, OH-enólico, R-C=O, R-NH₂ entre otros, de compuestos estructurales aromáticos y alifáticos. Es recomendada la comparación de los espectros obtenidos (calidad dependiente del grado de pureza de la muestra), en los materiales húmicos, para obtener informaciones de los procesos ocurridos sobre el material, pues posibilita además establecer con seguridad las diferencias de dos o más muestras y verificar diferencias naturales a las provocadas por cualquier tipo de manejo (Campitelli y Ceppi, 2008), por lo que los datos obtenidos con el FTIR son considerados por diferentes autores (Artz *et al.*, 2008) como un indicador cuantitativo de la composición (IC) de la MOS entre los más recientes.

Así, se establecen como indicadores de la hidrofobicidad (IH) y condensación de las moléculas de la MO a partir de la relación del contenido de C alifático / C orgánico señales intervalos de bandas 3000-2800/3100-3000 cm⁻¹ índices de hidrofobicidad (Capriel *et al.*, 1995) y $IH = 2929/1050$ cm⁻¹, $IC = 1660/2929$ cm⁻¹ (Freixo *et al.*, 2002), mientras mayores sean sus valores más será su resistencia a la degradación microbiana.

La determinación del contenido de carbono (C) total en la MOS y sus fracciones, es también muy utilizado para la caracterización de las mismas, por lo que es empleado como un indicador de la calidad del suelo y la sostenibilidad agronómica de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, considerándose el parámetro más importante en estudios a largo plazo (Santana *et al.*, 2011; Eveling *et al.*, 2011).

Se utilizan los métodos por combustión por vía seca y húmeda para la determinación de C en la MO y sus fracciones. Estos últimos son los más utilizados como métodos clásicos volumétricos (Walkley Black y Kononova- Belchikova). En la actualidad se destacan los métodos colorimétricos por su mayor reproducibilidad (Santos & Camargo, 2008).

La determinación de relaciones entre el %C en la MO y sus fracciones de SH, AH, AF, Huminas (%C (AH) / %C (AF); (%C (Hum.) / [%C (AH) / %C (AF)]; [%C (AH)+%C (AF)+%C(Hum.)/% C (MOS)]), son indicadores de la calidad de los suelos muy utilizados para determinar el grado de condensación de las estructuras aromáticas (humificación) de la MO soluble y su estabilidad estructural. Nardi *et al.* (2004) señalaron que a medida que los valores de esta relación son más elevados representa un material más evolucionado, lo que permite la validación del grado de humificación de la MOS, utilizados por numerosos especialistas de la materia para su caracterización.

Autores como Ortega (1982), Frómata (1984) y Garcés (1987), refirieron para los suelos tropicales de Cuba, que esta relación mostró tener valores menores que uno, al existir una dominancia de las fracciones fúlvicas sobre las húmicas, característico de los suelos evolucionados, como son los suelos Ferralíticos Rojos.

2.2. Aguas de lixiviación del suelo

El estudio de las aguas de lixiviación de los suelos es de gran importancia a la hora de evaluar y monitorear el impacto de sustancias que son adicionadas al suelo durante su manejo, pues a través de ellas ocurre el transporte de estas durante su flujo en el seno del suelo, donde pueden provocar modificación en el medio que pudieran llegar a la contaminación de los mismos, afectando su calidad.

Schepetkin *et al.* (2008), expusieron la capacidad de la materia orgánica y dentro de estas las sustancias húmicas de diferentes orígenes, de formar complejos órgano-minerales solubles que facilita la movilización de los diversos nutrientes en el suelo y en el agua de drenaje puede en alguna medida alterar el equilibrio natural de estos sistemas, cuya infiltración es considerada como un indicador de la condición de calidad del suelo. Estas referencias se corresponden con los planteados por diferentes autores entre los que se encuentran Febles *et al.* (2010) y Font (2007) que los relacionaron dentro de un segundo grupo en importancia al evaluar dentro del sistema de evaluación y monitoreo de la calidad en suelos cubanos.

La utilización de los lisímetros para el análisis de la calidad del agua de drenaje de un suelo, a partir de monitorear determinadas prácticas de manejo del suelo, son muy ventajosos para la evaluación de la lixiviación de nutrientes en diferentes suelos, pero escasos por la laboriosidad del método. En Cuba diferentes autores (Rivera y Truto, 1984; Torres y Suarez, 1990; Pavón *et al.*, 1990; Otero *et al.*, 1986; Pablos y Fernández, 1997) utilizaron los estudios lisimétricos para la evaluación de diferentes efectos sobre la calidad de las aguas de drenajes de los suelos.

En la literatura actual a nivel mundial se evalúa la contaminación de las aguas por la adición de productos al suelo como herbicidas, compost, vermicompost, MO y SH (Guo y Chorover 2003; 2005), aguas residuales (Utria., 2006); estudio de transporte de solutos (Kalbitz *et al.*, 2009).

Estos autores refirieron, que los estudios lisimétricos a nivel de campo, se han realizado a una menor escala, por su mayor costo, complejidad y menor control de los parámetros ambientales con respecto a los de laboratorio. A esta escala en la actualidad tiene grandes ventajas el uso de los microlisímetros, los cuales hacen más favorable el trabajo, pero tienen la desventaja de su alto costo en el mercado. Por estas razones se utilizan frecuentemente a nivel de laboratorio para el suministro de informaciones cuantitativas necesarias para un pronóstico sobre la interacción del suelo-agua; lo que garantiza una investigación

sistemática sobre las características del proceso de transporte y fraccionamiento de las sustancias con el paso de las aguas de lixiviación.

Las investigaciones antes referidas y los realizados por Eranilo *et al.* (2006), verificaron una correspondencia entre los resultados obtenidos a nivel de laboratorio y de campo. Otros han encontrado divergencias al no tener en cuenta en los estudios de laboratorio las condiciones hidrológicas adecuadas a establecer para su realización, según lo referido por Kalbitz *et al.* (2007).

La contaminación orgánica constituye la principal fuente de variación de la calidad del agua. La materia orgánica en el agua (MOD) sufre un ataque microbiológico que la transforma en compuestos inorgánicos (dióxido de carbono, agua, sales minerales). Esta mineralización de la materia orgánica es llevada a cabo por bacterias, hongos y protistas que utilizan la materia orgánica como alimento, lo que provoca un consumo del oxígeno disuelto en el agua, y determina su disminución para los seres vivos que lo necesitan en ese medio. Además de controlar los niveles de materia orgánica, es necesario velar también por el contenido de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio, pues el exceso de ellos en el agua, puede provocar en su conjunto procesos de eutrofización del medio (Tomasi *et al.*, 2008).

2.2.1. Indicadores de calidad de las aguas de lixiviación

En los estudios de la calidad del agua de lixiviación, se tienen en cuenta indicadores establecidos en las normas de control de la calidad del agua (Normas Cubanas: NC 93-02.1985 y NC XX: 1999), las cuales contienen datos estandarizados para valorar la calidad de las mismas.

Dentro de los indicadores físicos, químicos y biológicos más comunes establecidos para evaluar la calidad de las aguas se encuentran: temperatura, pH, CE, sólidos en suspensión, turbidez, oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO), contenido de cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+), contenido de aniones (NO_3^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) y la relación de adsorción de sodio (RAS), lo que permite establecer la clasificación de las aguas para su uso (NC 93-02.1985 y NC XX: 1999).

La materia orgánica disuelta (MOD), abarca biomoléculas solubles y sustancias húmicas, siendo un componente común de los sistemas acuáticos donde desempeñan un papel importante de la calidad ambiental y en el movimiento y transporte de agentes contaminantes asociados a ésta y en la biogeoquímica del carbono (secuestro de C), nitrógeno y fósforo y otros nutrientes dentro del ecosistema; en el transporte de compuestos orgánicos y sustancias contaminantes, al ser ésta, la parte más móvil y activa de la MOS (Guo y Chorover, 2003; 2005). Consideraron un factor controlador y un parámetro importante para evaluar el movimiento de estos, y para dar seguimiento a un gran número de procesos

físicos, químicos y biológicos dentro del medio ambiente del suelo y acuático. Los residuos vegetales, animales, humus y materiales humificados son fuentes de MOD importantes en los suelos naturales, la utilización de la fertilización con materiales orgánicos pueden originar aportes de contenidos de COD que pueden ser extraíbles con el agua de lixiviación y/o retenidos en el suelo.

El contenido de carbono orgánico disuelto (COD), es uno de los primeros indicadores a evaluar al realizar el estudio y monitoreo de la MOS, se considera como un buen indicador de un sistema de suelo saludable. Determina el equilibrio entre la descomposición, estabilización y las pérdidas por lixiviación de MOD (Kalbitz *et al.*, 2009). Estos autores, mostraron que las concentraciones y flujos de MOD en las soluciones del suelo disminuyen significativamente con la profundidad de la tierra, con análisis isotópicos con ^{13}C mostraron que la sorción de la MOD en el suelo contribuye al enriquecimiento de la MOS en los perfiles del suelo. Encontraron además, al realizar estudios con compost en columnas de suelo que la MOD natural, al ser una mezcla heterogénea, tiene diferentes afinidades por los materiales del suelo y que este comportamiento de fraccionamiento natural sugiere que los procesos físicos, incluyendo los efectos hidrofóbicos, tienen un papel predominante en el transporte de la MOD en los suelos.

Señalaron que este transporte activo de MOD en columnas de suelo implicaría una captación selectiva de las fracciones de moléculas aromáticas de mayor masa con características hidrofóbicas, mientras que las fracciones más pequeñas con compuestos más ácidos drenaron con las aguas de lixiviación. Añaden además, sobre los efectos de este fraccionamiento en el transporte de complejos DOM–metales y de agentes contaminadores orgánicos regidos por las características físico-químicas de la fase sólida y la MOD.

Para la caracterización de MOD en el agua se determina el contenido de COD, a través de métodos similares a los aplicados en los suelos, mediante la utilización de analizadores de carbono o por métodos espectroscópicos como el UV-visible, al determinar la absorbancia a 280 nm y el coeficiente E_2/E_3 (relación de los valores a absorbancia de 250 y 365 nm) que brinda una información mas precisa para las SH en agua, son utilizados comúnmente como indicadores que se relacionan con la aromaticidad de la MOD. Así, altos valores de E_{280} y coeficientes E_2/E_3 bajos, son relacionadas a su vez con una baja acidez en la fracción; siendo consideradas de mayor complejidad estructural (fracciones con mayores características hidrofobas), las que son retenidas preferentemente por el suelo (Guo and Chorover, 2003; Totsché *et al.*, 2007).

2.3. Planta

2.3.1. Generalidades del Cultivo del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* Linneo) (Peralta *et al.*, 2006), es la especie hortícola más comercializada en el mundo, de gran nivel de producción, distribución y consumo en diversas formas, la cual aumenta su consumo a través de los años, a pesar de que ocupa el lugar 16 en cuanto a su valor nutritivo. No obstante, por su apetencia y alto nivel de uso en estado fresco o procesado, se considera una de las principales fuentes de energía, vitaminas y minerales de muchos países (Velasco *et al.*, 2011).

Entre los países de América Latina y el Caribe, Cuba se clasifica como uno de los mayores consumidores de tomate. Dentro de la horticultura cubana, representa el 35 % del volumen total de producción y el 30 % del área de siembra, las que se ubican en todas las zonas edafoclimáticas del país, aunque se distinguen seis provincias que agrupan más del 60 % de la producción: Pinar del Río, La Habana, Villa Clara, Sancti Espíritus Ciego de Ávila y Granma (FAOSTAT, 2011). Durante los ciclos de siembras del 2005 al 2006 se alcanzó con el tomate a campo abierto, un aproximado de 376 804 toneladas métricas, en un área de 28 297.41ha y con un rendimiento promedio de 13.5 t.ha⁻¹ (ONE, 2011).

Estos rendimientos obtenidos son bajos para la alta demanda de este producto por la población. Están influenciados por las condiciones climáticas desfavorables que prevalecen en nuestro país, típicas de países tropicales, que distan de las exigencias ecológicas de este cultivo; al predominar los efectos negativos de las altas temperaturas y la humedad relativa sobre la fructificación; así, como los daños que ocasionan las intensas lluvias en siembras tempranas, que propician además, el desarrollo de plagas, con un decrecimiento de la productividad de las plantas y calidad de los frutos (Morales, 2010).

Estos autores plantean que unido a esto, no se cuenta o no se seleccionan variedades totalmente adaptadas a estas condiciones, que sean resistentes además al ataque de las plagas, aspectos que influyen en el adecuado manejo de éstas, para la obtención de mejores rendimientos en este cultivo. Además de las condiciones de antropogénesis tropical y manejo inadecuado que presentan los suelos de Cuba durante su elevada explotación a través de los años (Hernández *et al.*, 2012).

A pesar de las condicionantes anteriores, se plantea que en nuestro país, el rendimiento promedio se ha incrementado hasta un 12 % en estos últimos años, los que no satisfacen aún las demandas actuales (Álvarez *et al.*, 2003). En tal sentido, a nivel mundial se viene incrementando la producción como una de las alternativas de la agricultura moderna para la obtención de un mayor rendimiento agrícola, solucionando las problemáticas ecológicas y económicas existentes a nivel mundial.

Las recomendaciones de nutrición y fertilización en el cultivo del tomate son variables, y dependen de las condiciones locales específicas. Los mejores rendimientos y calidad se obtendrán cuando se aporte la cantidad necesaria de nutrientes, en forma balanceada, en época oportuna, de acuerdo al ritmo de absorción de la planta, y con la fuente de fertilizante adecuada (Nuez *et al.*, 2008).

Dentro de las exigencias nutricionales del cultivo del tomate se encuentran: el contenido de nitrógeno para su crecimiento y desarrollo, fundamentalmente del área foliar; su carencia trae consigo frutos de mala calidad, atraso en la maduración y disminución en los rendimientos. El fósforo junto con el nitrógeno influye en el crecimiento de la planta, así como en la maduración temprana y la cantidad de producción. Para el buen desarrollo de los frutos estas plantas tienen grandes necesidades de potasio, importante para su sabor; consecuencia fundamental de su participación en el metabolismo de carbohidratos. El calcio por su parte, es importante fundamentalmente en la consistencia de los frutos. El contenido de microelementos como el boro, el manganeso, molibdeno y el zinc, incrementan el contenido de azúcares y materia seca (Nuez *et al.*, 2008).

Se plantea como momentos más adecuados para realizar la aplicación de fertilizantes para todos los tipos de suelos: Una primera aplicación en la etapa de siembra, segunda a los 25-30 días, una tercera entre los 45-50 días y la cuarta entre los 80 días (Eumedia, 2010).

En investigaciones realizadas en centros de investigación del país, se ha logrado productos para el incremento en la producción de tomate con mejora de su calidad, mayor defensa de las plantas ante diferentes condiciones de estrés, a través de tratamientos de las semillas y post trasplante (Rivera *et al.*, 2010). Todo ello como resultado de la utilización de una serie de alternativas tales como: la mejora genética de variedades de cultivo de tomate (Álvarez *et al.*, 2003; Moya *et al.*, 2006), la fertirrigación localizada en el cultivo protegido (Hernández *et al.*, 2010).

Además, con el uso de estimuladores de crecimiento como el Biostan (Echenagusía, 1999; Garcés *et al.*, 2006), los Brasinoesteroides (Rosabal *et al.*, 2010), Pectimorf (Núñez, 2002; Reinaldo *et al.*, 2010); microorganismos como hongos formadores de micorrizas arbusculares, HMA y solubilizadoras de fósforo (Ortega *et al.*, 2010), los biopreparados como Azofert, *Azotobacter chroococcum* y *Azospirillum lipoferum* (Dibut *et al.*, 2010), Fitomas (Álvarez *et al.*, 2010), entre otros. En tomate Amalia con Bioestan, HMA (Terry, 2004). Utilización de humus de lombriz y HAM en cultivo protegido de tomate (Jude *et al.*, 2010), con Fitomas E y Dimabac (Ruisanches *et al.* 2010).

Se señalan además, efectos favorables de dosis foliares de SH obtenidas de vermicompost en el comportamiento de las plantas de tomate frente a las plagas (Zaller, 2006), al considerar su acción similar

a fitohormonas como auxina (AIA; AIP), citoquininas y giberelinas; pues se han observado alteraciones en los niveles hormonales de ellas en plantas de tomate bioestimuladas ante la incidencia de plagas, estas pueden estar involucradas en el proceso de señalización que conlleva a las respuestas de defensa de las plantas (Cordeiro *et al.*, 2011).

Dentro de las variedades de tomate mejoradas genéticamente se encuentra la Amalia, obtenida en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Cuba, Premio Nacional de Innovación Tecnológica 2002, otorgado por el CITMA. Esta ocupa las mayores áreas de siembra del país, fundamentalmente en las zonas de las provincias de La Habana, Mayabeque y Artemisa, debido a su aceptación por los productores, ya que promueve una alta productividad y adaptación climática. Además que puede sembrarse en los períodos tempranos y óptimos. La versatilidad de sus frutos hace que se utilicen como consumo fresco e industrial, además de ser resistente a las pudriciones en el campo y en el patio de la industria (Álvarez *et al.*, 2003).

“Amalia” posee plantas ligeramente abiertas, de crecimiento determinado; su siembra es factible a 1.40 x 0.25-0.30 m, con un ciclo entre 90 y 120 días. El sistema de siembra es revolcado con atenciones culturales según instructivo técnico para el cultivo (Gómez, 2000). Los frutos se distribuyen sin tocar el suelo, son redondos, ligeramente achatados y apostillados, de color verde claro y sin hombro verde; cuando maduran son de color rojo naranja, con una masa promedio entre 130 y 170 gramos.

Esta variedad de tomate condiciones de alta infestación, es medianamente resistente a *Alternaria solani*, resistente a *Phytophthora* y tolerante a *Fusarium oxysporum* (razas 0 y 1). Se caracteriza por un buen comportamiento general y altos rendimientos, incluso cuando abundan las altas temperaturas en invierno, se obtienen rendimientos entre 28 y 64 t*ha⁻¹ (Álvarez *et al.*, 2003).

Estos autores refieren además, el impacto social y ambiental que ha mostrado esta variedad de tomate al producir incrementos considerables de los rendimientos por área de cultivo, dando la posibilidad de producir más tomates en menor área, con el consiguiente ahorro de insumos, dinero que podrá ser destinado a otros fines. El poder lograr los volúmenes de producto en menos área, permite también destinar tierras a otras producciones y el uso de menos cantidades de agrotóxicos redundará en beneficio del medio ambiente y de la salud de la población.

En el cultivo de tomate el tiempo de germinación varía entre 5–14 días, la capacidad de germinación se mantiene hasta 5 ó 6 años, si las condiciones de conservación son favorables. En la fase de germinación de la semilla es preciso que concurren una serie de condiciones externas favorables como son: humedad (la semilla vuelve a un metabolismo activo, es necesario que sus tejidos se rehidraten), temperatura (su

efecto se debe a su capacidad para influir sobre los enzimas que regulan la velocidad de las reacciones bioquímicas que ocurren en la semilla tras su rehidratación) y aireación (el embrión necesita disponer del oxígeno suficiente para la obtención de la energía imprescindible para mantener sus actividades metabólicas).

Todos estos factores dan como resultado una cadena de acontecimientos metabólicos que van sucediéndose de forma escalonada desde la absorción intensa de agua por parte de la semilla, acompañada de un aumento proporcional en la actividad respiratoria, con la iniciación de cambios morfológicos visibles, en concreto con la elongación de la radícula, con un constante incremento de la absorción de agua y de la actividad respiratoria (Velasco *et al.*, 2011), efectos producidos por la bioestimulación provocados al aplicarse SH a semillas de diferentes cultivos (Maylew, 2004).

Para la producción de posturas de tomate hay que tener en cuenta un número de indicadores que definen la calidad de las mismas como: la longitud del tallo (12- 14 cm), diámetro del tallo (>3 mm), el número de hojas (3-4), la longitud de la raíz (cm), el índice de germinación y crecimiento, la masa fresca y seca de la raíz y la parte aérea de la plántula (FAOSTAT, 2011). Características que intervienen en el manejo de las plántulas a la hora del trasplante, aumentando ó disminuyendo la resistencia al estrés que constituye esta labor, además del establecimiento de las mismas en el área de producción. La obtención de posturas debe realizarse con mayor cuidado y dedicación pues de la salud y estado nutricional dependerá la producción del cultivo (Casanova *et. al.*, 2003).

Como indicadores biológicos planteados por la literatura para evaluar el crecimiento y desarrollo de las plantas, se plantean: el largo de la raíz, del tallo y diámetro, índice de crecimiento del largo y ancho de las hojas, área foliar, número de hojas, número de flores, masa seca y fresca de la parte aérea de la planta y la raíz (NC 77-15:91. 1992; Gómez, 2000).

El análisis del crecimiento representa la referencia inicial en el análisis de producción de las especies vegetales, requiriendo informaciones que pueden ser obtenidas sin la necesidad de equipos sofisticados. Generalmente, se basan en la medición frecuente de la masa seca del material vegetal y su sistema foliar obtenidas a intervalos de tiempo regulares durante el desarrollo fenológico del cultivo (Taiz y Zegger, 2005). Tasa relativa de crecimiento (TRC).

Define la velocidad instantánea por unidad de materia vegetal presente ($1/w.dw/dt$). Permite conocer cuánto ha sido de eficiente una planta en elaborar nuevo material (biomasa). También se define el incremento en masa de material vegetal que experimenta una planta por unidad de materia presente y por unidad de tiempo. Permite conocer, el aumento de masa de la materia seca al finalizar un período de

medición por cada gramo de materia seca existente al inicio de la medición. Se expresa en $\text{g.g}^{-1}.\text{día}^{-1}$. Este índice también tiene sus limitaciones, pues no toda la masa seca de la planta en un momento dado puede considerarse como potencialmente productor de nueva materia vegetal.

La Tasa de asimilación neta (TAN) se define como el incremento en masa de materia vegetal presente por unidad de superficie foliar y por unidad de tiempo. Es un indicador muy importante, pues indica el balance entre fotosíntesis y respiración. Se expresa en $\text{g.dm}^{-2} \text{ área de hoja.día}^{-1}$. Existen criterios de cuál es la mejor base para expresar la TAN y señala que idealmente, la base de referencia debe ser una medida precisa de la capacidad del sistema responsable de la acumulación de la materia seca, lo que algunos autores llaman "factor interno". El mismo autor plantea que como la fotosíntesis se desarrolla en las hojas fundamentalmente y la respiración se presenta en toda la planta, es importante que un solo atributo sea una medida adecuada de ese "factor interno" y es por eso que la TAN se ha calculado sobre la base del área foliar, la masa seca de las hojas, la clorofila o el nitrógeno proteico foliar.

La relación de área foliar (RAF) representa la proporción del área foliar de una planta por unidad de masa seca presente en un momento dado. Caracteriza el tamaño del aparato asimilativo foliar, fuertemente afectado por las condiciones ambientales, siendo en las hojas, donde primero se manifiestan estos efectos, constituyendo un elemento útil en la evaluación de diferencias entre plantas que resulten de factores genéticos, ambientales o por efecto de tratamientos. Se expresa en $\text{dm}^2.\text{g}^{-1}$.

El potencial de crecimiento y producción de metabolitos en plantas superiores es una función de la fotosíntesis, por lo que el contenido de pigmentos fotosintéticos tiene una gran importancia para evaluar el proceso. El contenido de pigmentos verdes, su síntesis y acumulación en las gramas de los cloroplastos está influido por diferentes factores, así, el estado fisiológico, estado nutricional, la fase de crecimiento y desarrollo, la edad de la hoja y la especie vegetal y factores ambientales, influyen en la cantidad de clorofilas presentes en los cloroplastos. Es conocido que los pigmentos clorofilicos son las sustancias químicas importantes en la captación y conversión de la energía lumínica en química. La cantidad de estos pigmentos en el cloroplasto, varía con las especies, edad de las hojas y las condiciones climáticas, destacando con índice, el rango de la concentración de 1 a 10mg.dm^{-2} de área foliar. La humedad del suelo y la fertilización han sido señaladas como factores que influyen en el contenido de pigmentos en los vegetales, los cuales aumentan con el incremento de la humedad del suelo y disminuyen en condiciones de sequía.

En los indicadores Productivos y de calidad del fruto del cultivo del tomate, debe tenerse en cuenta en función del uso al que va a ser destinado el producto. En el caso del tomate fresco deben considerarse

todas las características valoradas por los consumidores, incluyendo el sabor, el aroma y la textura. Calidad desde el punto de vista del consumidor, se aprecia en tres pasos que serían: calidad que el consumidor observa antes de realizar la compra (externa), calidad que el consumidor detecta cuando está consumiendo el producto y finalmente calidad nutritiva que el consumidor no la notaría sino después de un tiempo de consumo (interna) (Mikkalsen, 2005).

En tal sentido, el diámetro de los frutos, constituye un indicador de importancia, pues este es el reflejo de la producción de biomasa del fruto, es señal de salud y buena nutrición. Está relacionada con la extracción de elementos por la planta, la masa seca y porcentaje de agua del fruto. Frutos mal formados y de poco diámetro no son comercializados en el mercado, donde el 90 % de los consumidores compran el fruto para consumo fresco. Según se establece en las normas técnicas vigentes, los frutos deberán separarse por categorías atendiendo al diámetro de los mismos (Casanova *et al.*, 2003).

La consistencia o firmeza de los frutos es un factor adicional de aceptación por el consumidor (ZonaDIET, 2010), que esta ligado a la evaluación de la madurez. Es además un factor a tener en cuenta en el momento de exportación y almacenamiento; una mala consistencia puede provocar daño por frío en el momento del almacenamiento y por la transportación.

La calidad interna de los frutos del tomate esta determinada por un grupo de elementos: agua, carbohidratos reductores, fibra, almidón, proteína, grasas, vitaminas, ácido ascórbico, minerales, lípidos y carotenos. La composición química de los frutos de esta hortaliza debe cumplir estos requisitos para lograr frutos de alta calidad y la aceptación tanto para los que consumen el fruto fresco o procesado. Estos elementos intervienen en el sabor y los aportes nutricionales del fruto, es por ello que es de vital importancia lograr frutos de alta calidad interna (ZonaDIET, 2010).

Los sólidos solubles totales (Brix) son determinantes en el sabor del tomate, esta influido principalmente por los niveles de azúcares y de ácidos, de manera que al aumentar los niveles de estos, aumenta también el sabor. Los azúcares (glucosa y fructuosa) constituyen el 65 % de los sólidos solubles, mientras que el resto está constituido principalmente por los ácidos cítricos y málicos, minerales, y lípidos. Un aumento en el contenido de sólidos solubles produce a su vez una mejora en el sabor del fruto y con esto mayor aceptación por los consumidores. El Ácido ascórbico (vitamina C), se encuentra en grandes concentraciones en las frutas de las plantas del género Citrus, hortalizas verdes y tomates. Perteneciente junto con las vitaminas B al grupo de las hidrosolubles, la vitamina C interviene en el mantenimiento de huesos, dientes y vasos sanguíneos por ser buena para la formación y mantenimiento del colágeno. Protege de la oxidación a la vitamina A y vitamina E, como así también a algunos compuestos del complejo

B (tiamina, riboflavina, ácido fólico y ácido pantoténico). Desarrolla acciones anti-infecciosas, antitóxicas y ayuda a la absorción del hierro no hemínico en el organismo (Nutrido, 2010).

2.4. Extracto de vermicompost de estiércol vacuno "Liplant"

En Cuba, en la década del 90, el grupo de Materia Orgánica y Bioestimulantes (MOBI), del Departamento de Química de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), comenzó sus investigaciones con el objetivo de desarrollar una metodología para la obtención de variantes líquidas de las sustancias húmicas a partir del vermicompost de estiércol vacuno con la obtención del Biostan y extractos de vermicompost como el Liplant (Garcés *et al.*, 2006), con características semejantes a las citados por De Lignán (2010).

Este autor refiere que estas sustancias son conocidas a nivel mundial como "*humus líquido*", las cuales incluyen, como extractos húmicos generalmente de 30-40% MO, que presentan en su matriz a las sustancias húmicas cuya concentración se encuentra entre el 25-28%, siendo la más típica la de 25% en enmiendas húmicas líquidas o concentradas de AH. Una humedad entre un 40-50% con densidad entre 1.1 -1.3 g.dm⁻³. La MO no humificada aproximadamente entre el 15%, con un 3 a 6 % de aminoácidos libres y contenidos de hormonas de crecimiento (Caro, 2004).

Entre los minerales presentes, este autor informa como los de mayor porcentaje el K, Ca, Mg, N total; le sigue el P, S, Fe, Mn, Zn, Cu, entre otros. Contiene además una rica flora microbiana (112×10^{12} ufc.cm⁻³). Esta composición tan heterogénea hace más compleja la interpretación de sus efectos, siendo muy interesante para los especialistas que se dedican al estudio de este tema, la manera en que este sistema tan complejo interactúa con los cultivos y el suelo provocando efectos favorables en su uso continuado.

El humus líquido Liplant, es obtenido a partir de residuos pecuarios procesados mediante la lombricultura, los cuales posteriormente se tratan por vías químicas y físicas para extraer y concentrar sustancias que manifiestan alta actividad biológica. Se ha comprobado que esa actividad biológica es significativa aun en bajas concentraciones de este humus líquido (Garcés *et al.*, 2006).

Caro, (2004), realizó la caracterización del producto (anexo 1), por métodos químicos – físicos analíticos de alta resolución (UV, IR, ICP, EM-CG, etc.); como también mediante bioensayos, se ha detectado en este producto la presencia de sustancias de naturaleza hormonal (AIA, AIP, GA₃ y CQ) que representan el 3.38% de la MO no humificada. La presencia de este sistema de fitohormonas o intermediarios disueltos en el humus líquido, hace que el mismo presente características bioestimulantes al ser aplicado a diferentes cultivos ya que al contener auxinas (AIA y AIP) estimulan la elongación.

La auxina ha sido implicada en la regulación de un número de procesos fisiológicos. Por ejemplo, se ha encontrado evidencia acerca de su papel en la dormancia apical, el crecimiento y diferenciación celular,

maduración de frutas, floración, senectud, geotropismo y otras respuestas. El efecto inicial preciso de la hormona, que subsecuentemente regula estos diversos eventos fisiológicos no es aún conocido. Durante la elongación celular inducida por la auxina se piensa que actúa por medio de un efecto rápido sobre el mecanismo de la bomba de protones ATPasa en la membrana plasmática, y un efecto secundario mediado por la síntesis de enzimas (Canellas, 2005).

Este investigador refiere, que la adenina presenta una estructura muy similar a la estructura básica de las citoquininas, constituye un precursor de esta familia. La importancia que presenta esta familia de hormonas en las plantas no es conocida aún con certeza. Mientras que sí estimulan la división celular, se sabe que la aplicación exógena causa varias respuestas significativas: cuando se aplica a hojas separadas, las citoquininas retrasan la senectud, por lo tanto, la tasa a la que ocurre el proceso degradativo se reduce significativamente. Esta disminución se debe en parte al movimiento facilitado de aminoácidos y otros nutrientes hacia el área tratada.

Estos autores refieren, que el sitio de respuesta se localiza donde la hormona es colocada sobre la hoja, indicando muy poco movimiento de la citoquinina en la hoja: estimulación de la germinación de semillas, estimulación de la formación de frutas sin semillas, ruptura del letargo de semillas, inducción de la formación de brotes, mejora de la floración, alteración en el crecimiento de frutos, ruptura de la dominación apical. Las giberelinas (GA), que actúan como reguladores endógenos del crecimiento y desarrollo de los vegetales. Su actividad más destacada se encuentra en la estimulación del crecimiento del tallo.

También se ha caracterizado (Caro, 2004), con un contenido de materia orgánica de un 36.2 %, de esta un 25.82 % de sustancias humificadas (SH) y en ácido húmico (AH) en un 49% y de ácido fúlvico (AF) en un 51%. La relación que se establece entre estas fracciones es de (AH/AF) de 0.98 es adecuada (Ruiz, 1999), lo cual muestra el carácter fulvático de las fracciones de baja masa molar que poseen una mayor actividad química. Esta información sugiere que en estas SH de joven formación al existir un predominio de las estructuras alifáticas, se corresponde con los valores de la relación H/C_{corr} y de los coeficientes E_4/E_6 los cuales se encuentran muy por encima para AH de vermicompost de estiércol vacuno (Ruiz, 1999) y de suelos (Garcés *et al.*, 2009), quienes presentan un mayor grado de condensación en sus estructuras.

Los valores de la relación C/N se encuentran en un intervalo de 13.73-19.26 coincidiendo también con los valores reportado por Ruiz (1999), lo que hace suponer que el vermicompost de los cuales se partieron para obtener ambos extractos, se encuentran biológicamente estabilizados.

Con relación a los AF presentes en el extracto Caro (2004), refiere características fulváticas marcadas en comparación con los existentes en el suelo de diferentes regiones, según Garcés (1987), al presentar un

contenido de carbono por debajo del 41%, el oxígeno por encima del 45 % y el nitrógeno a valores entre 4.3- 6.5 % lo que sugiere que este último se encuentra alto en comparación a otras muestras de AF.

Este predominio de SH de naturaleza fulvática, hace que posean una estructura mucho más simple con una alta composición de azúcares, aminoácidos, proteínas y aminoazúcares, lo que se ratifica mediante espectroscopia IR. Estas producen un proceso estimulante sobre la planta y su nutrición, además del aporte intrínseco de N, C, y otros nutrientes, resultando aparentemente muy favorable respecto al humus de los suelos.

Caro (2004), determinó en el Liplant (Anexo 1) ocho aminoácidos, que representan un 7% de la MO no humificada, de los cuales cuatro resultan ser de gran importancia para las plantas (valina, fenilalanina, leucina y lisina). Este autor planteó que desde el punto de vista fisiológico se fomenta el índice de germinación, el crecimiento vegetal, el desarrollo radicular, la absorción de nutrientes y el incremento en la producción y en la calidad de esta. Esto también se refleja desde el punto de vista bioquímico, ofrece a las plantas una fuente de materia prima para la síntesis de estructuras más complejas de importancia biológica como las proteínas y el contenido en azúcares y además mediante procesos de transaminación pueden dar origen a otros aminoácidos, reportándose el caso del ácido glutámico y el ácido aspártico. Este último, constituye el mayor porcentaje en el humus líquido (3.87%), haciendo más interesante el estudio de la posible interacción de los componentes del humus líquido con las plantas. Refiere además, la presencia de 12 macro y micro elementos, aminoácidos y sustancias de carácter proteico (Anexo 1.1).

Dentro de la composición de microorganismos presente en el Liplant, reportado por Arteaga *et al.* (2007), se encuentran bacterias (actinomicetos, *Pseudomonas* spp, *Azospirillum* sp, *Azotobacter* sp y Nitro fijadoras totales y un gran número de *Bacillus*), y hongos (Anexo 1.2). La presencia de estos puede explicar además la causa de la existencia en la composición del Liplant de estructuras semejantes a las hormonas de crecimiento vegetal como auxinas, giberelinas, citoquinina. Presentan una composición semejante en cuanto a las familias y géneros que se presentan en el vermicompost que le da origen y el suelo FRL en estudio (Anexo 1.2). Presenta un contenido menor a estos en las bacterias y hongos; para el caso de los actinomicetos y *azospirillum* es superior puro y en dilución 1/10 semejante al suelo.

Se ha comprobado que durante su metabolismo, estos microorganismos tienen un papel predominante en el ciclo de reciclaje de nutrientes como el nitrógeno, potasio, fósforo, sustancias biológicamente activas (aminoácidos, vitaminas, enzimas, etc) y sustancias fungísticas muy importantes para las plantas (Coyne, 2000). Su participación en el proceso de fermentación y descomposición de la materia orgánica del suelo

podiera explicar además en alguna medida la presencia de sustancias húmicas como componentes mayoritarios en el Liplant (anexo 1b).

La presencia de microorganismos en el Liplant puro demuestra que su proceso de obtención no los elimina, encontrándose activos, confirmado por la dinámica respiratoria obtenida durante 360 días (Anexo 1.3), con un valor medio de 258.10 mg CO₂. L⁻¹.d⁻¹ (Arteaga *et al.*, 2007). Rango señalado para residuos de composta bovina extraídos con agua, los cuales, según Gómez (2000), son utilizados como productos bioestimuladores del crecimiento vegetal.

Esto permite valorar los efectos positivos que pueda tener el producto para el medio edáfico, si se tiene en cuenta la similitud con los microorganismos existentes en el suelo y en el vermicompost que le da origen (Anexos 1.2), referido por Arteaga *et al.* (2007).

Se ha aplicado en diversos cultivos, mostrando efectos favorables como bioestimulante en el desarrollo del sistema radical (incluyendo la micropropagación de plantas), el crecimiento del tallo, el área foliar, la floración y la fructificación. Como consecuencia de lo anterior, se ha comprobado que el empleo de Liplant repercute en una mayor productividad biológica de los cultivos estudiados y derivado de ello un rendimiento agrícola superior (Garcés *et al.*, 2006).

El Liplant ha sido probado en diferentes cultivos como: soya (*Glycine max* L.), pimiento (*Capsicum annuum* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.) (Garcés *et al.*, 2006). En estos se logró incrementos en la producción biológica, reproductiva y en las variables fisiológica- bioquímica (pigmentos fotosintéticos, carbohidratos reductores y N foliar, entre otros). Al aplicar Liplant al cultivo del gladiolo (*Gladiolus*, var. Alfred Nobel por imbibición del cormo y aplicaciones foliares 1/30 y 1/40 (Arteaga, 2003), en condiciones de producción se obtuvo una mejoría en la calidad de la espiga floral: Longitud del tallo floral (31%), número de flores por espiga y diámetro de la primera flor (tabacos para corte), se muestran diferencias con el cultivo no tratado con 40-41%. Con respecto al número de flores/espiga se obtienen 3 flores por encima del control. Se encontró un mayor nivel de eficiencia en la concentración más diluida (1:40), así como el tiempo que se gana para la comercialización de las flores, resultando más económico y rentable su aplicación al acortar el tiempo de producción y obtener espigas de mayor calidad, lo que puede aumentar su precio comercial.

Caro (2004) y Calderín (2010) en el Liplant y en el residuo sólido de la producción de éste respectivamente, determinaron la presencia de estructuras semejantes a hormonas vegetales (ácido indolacético, ácido giberélico, y precursores como la adenina) en las fracciones de los productos obtenidos del vermicompost

(Biostan y Liplant), además de grupos de fracciones de sustancias húmicas de baja masa molar que en su conjunto pueden ser responsables de la alta actividad biológica que presenta a bajas concentraciones .

Martínez (2006), al aplicar diluciones de Liplant en agua 1/30 y 1/40 a las semillas de maíz, encontró que la actividad de la enzima H⁺ATPasa de membrana plasmática de las raíces tratadas con el humus líquido a los 7 días después de sembrada, fue estimulada en más de un 80 %, lo que pudiera explicar el crecimiento radicular superior encontrado en estas plantas. Al aumentar la dilución del Liplant se benefició el contenido de clorofilas, la fotosíntesis y la transpiración instantánea; estas últimas condicionadas por la conductancia estomática. Mientras que los contenidos foliares de carbohidratos reductores totales, glucosa, fructosa y sacarosa decrecieron con el aumento del almidón. Las actividades enzimáticas en raíces y hojas de la enzima NR fue estimulada bajo la acción del Liplant, comportamiento que fue obtenido para la enzima GS foliar, encontrándose ligeros incrementos en el N foliar. Citó el empleo del Liplant como componente en los medios de cultivo para las fases de proliferación y enraizamiento en la propagación *in vitro* del plátano macho (*Musa sp.*, AAB), sustituyendo a las fitohormonas tradicionales, el acortamiento de la fase de aclimatación y la disminución del costo de producción de las vitroplantas. Huelva *et al.*, (2006) han evaluado indicadores bioquímico-fisiológicos en plantas de pimiento como pigmentos fotosintéticos por aplicaciones del Liplant.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Aspectos generales

El procedimiento desarrollado consistió de dos etapas: (I) en experimento de campo para determinar la respuesta productiva de las plantas de tomate variedad Amalia, en tres ciclos completos del cultivo en suelo Ferralítico Rojo Lixiviado (FRL) al ser insertada la aplicación del Liplant al sistema productivo de una finca. (II) la realización de pruebas equivalentes a la aplicación del Liplant por dos años en el laboratorio, para evaluar la posible contribución a la conservación de propiedades del suelo FRL y la caracterización de las aguas de lixiviación. Con este fin, se interrelacionaron indicadores de calidad de la productividad biológica y agrícola del cultivo con propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo y las aguas de lixiviación, con un enfoque de sistema (Fig. 3.1).

En los experimentos de campo se registraron las variables meteorológicas tomadas de la Estación meteorológica de Tapaste provincia Mayabeque (Anexo 2). El comportamiento de la temperatura (°C) que comprenden el período de evaluación no se diferenciaron de los valores medios históricos característicos de la zona (19.93-23.10°C). La humedad relativa se encontró entre un 77-82 %, los valores más bajos se presentó en la etapa del primer y segundo ciclo de cultivo. Las precipitaciones fueron menores en los ciclos CS₂ y CS₃ con respecto al CS₁ y a los valores característicos de la zona en el período experimental (37.3-96 mm). Determinado por las cantidades de precipitaciones ocurridas fundamentalmente entre los meses de enero a marzo, menores en un 50% en el segundo ciclo con respecto a las del CS₁.

En el laboratorio se consideraron las dos primeras variables en la etapa evaluativa (Anexo 2).

Caracterización de propiedades de los suelos utilizados en el estudio

Los suelos seleccionados son característicos en el ecosistema de la "llanura Roja de La Habana", que comprende 150 000 ha en las provincias de Mayabeque y Artemisa (Hernández *et al.*, 2012); del tipo genético Ferralítico Rojo Lixiviado (FRL) (Hernández *et al.*, 1999), que se correlacionan con los Nitisol ferrálico (éutrico ródico) (WRB, 2008). Con este fin, en la parte central de las parcelas se efectuó la apertura de una calicata, para la descripción y caracterización del suelo, siguiendo la metodología propuesta por Hernández *et al.* (1995). El estudio de propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo se realizó a través de los métodos y técnicas reflejadas y referidas en la Tabla 3.1. Las evaluaciones mostraron características de suelos FRL conservados (Anexo 3), de acuerdo a los indicadores de degradación referidos para este tipo de suelo (Garcés *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2012), los cuales resultaron adecuados para la realización de los experimentos de acuerdo con los objetivos propuestos.

Tabla 3.1. Indicadores físicos, físico -químicos y biológicos evaluados en los suelos.

Variables	Acrónimo	Procedimiento y métodos	Referencias	
Humedad natural e higroscópica	Wh	Método gravimétrico	Luis y Martin (2003)	
Densidad real	dr (g.cm ⁻¹)	Método del picnómetro		
Densidad aparente	da (g.cm ⁻¹)	Método de los anillos		
Composición mecánica (micro y macroagregados)		Método de Bouyoucos, modificado		
Factor de dispersión	(%)	%de arcilla microagregados / % arcilla análisis mecánico*100		
Porosidad total	Pt	Pt=(1-da/dr)*100		
Capacidad de campo	CC	Prensa Richard		
pH (H ₂ O y KCl)	pH	Potenciométrico		NC ISO 10390,1999
Contenido de Ca ²⁺ , Mg ²⁺ y Na ⁺ , K ⁺	mg.L ⁻¹	Complejometría y Fotometría de llama		Paneque <i>et al.</i> (2002)
Contenido de K ₂ O y P ₂ O ₅ asimilables	ppm	Método de Oniani		NC ISO 52,1999
acidez hidrolítica	(Cmol.kg ⁻¹)	Método de Kapeen		
Conductividad eléctrica	CE (μs.cm ⁻¹),	Conductimetría	NC 112, 2001	
Materia orgánica (MO%)	%MO	Método de Tyurin Colorimetría λ= 559 nm,	NC 10390,1999	
Fraccionamiento de las MO y Sustancias Húmicas (SH)	%C(MO),%C(AH),%C(AF)	Método de Kononova-Belchikova modificado	Santos-Camargo(2008)	
Porcentaje de carbono en la MO y SH		Método Colorimétrico (λ= 559 nm)	Garcés (1986)	
Capacidad de intercambio catiónico	CIC (Cmol.kg ⁻¹)	método de Shatcshabel	(NC 65,2000)	
Experimentos de laboratorio (
Espectros UV-Visibles (200 – 800 nm)	Fracción de AH	Espectrómetro ZUZZI UV-4200	Artz y Campbell (2008)	
Espectros FTIR		Infra Rojo de transformada de Fouriel (FTIR)	Carballo <i>et al.</i> (2008)	
IH= abs 2929/1050 (Índice de Hidrofobicidad) IC=abs 1616/2929 (Índice de condensación)		Espectroscópico MAGNA, NICOLET 550,	Freixo <i>et al.</i> (2002) Chen <i>et al.</i> , (2008)	
Actividad respiratoria de los microorganismos del suelo (mg CO ₂ kg ⁻¹ .h ⁻¹)		Método de respiración inducida de microorganismos	ISO 16072, 2000	
N0.de poblaciones de microorganismos del suelo.		Método de las diluciones seriadas conteos en placa	Mayea <i>et al.</i> (1991)	

Tabla 3.3. Indicadores físico, físico -químicos evaluados en las aguas de lixiviación.

Variables	Acrónimo	Técnica	Referencias	Laboratorio
pH H ₂ O	pH	Método potenciométrico	NC XX: 1999, NC 93-02.1985	Departamento Química (UNAH)
Conductividad eléctrica (μS/cm)	CE	Conductimetría		
Cálculo de la relación de absorción de sodio	RAS	RAS = Na ⁺ / √ (Ca ²⁺ + Mg ²⁺)/2		
Contenido (mg.L ⁻¹) de Cationes	Ca ²⁺ ,Mg ²⁺ ,Na ⁺ ,K ⁺	espectrómetro de absorción atómica SP9		
Contenido de carbono orgánico disuelto	COD	Colorimetría (λ= 559 nm)	Canellas (2005)	
Espectros UV-Visibles (200 – 800 nm)	UV	Espectrómetro ZUZZI UV-4200	Guo y Chorover (2003)	
Oxígeno disuelto en el agua	OD (mg.L ⁻¹)	1 ml de MnSO ₄ y 1 ml de Alkali-Ioduro-Azida	NC XX: 1999, NC 93-02.1985	Laboratorio calidad de las aguas (ENAST) C. La Habana
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Método de Winkler con modificación con azida de sodio		
Demanda química de oxígeno	DQO (mg.L ⁻¹)	Volumetría Redox		

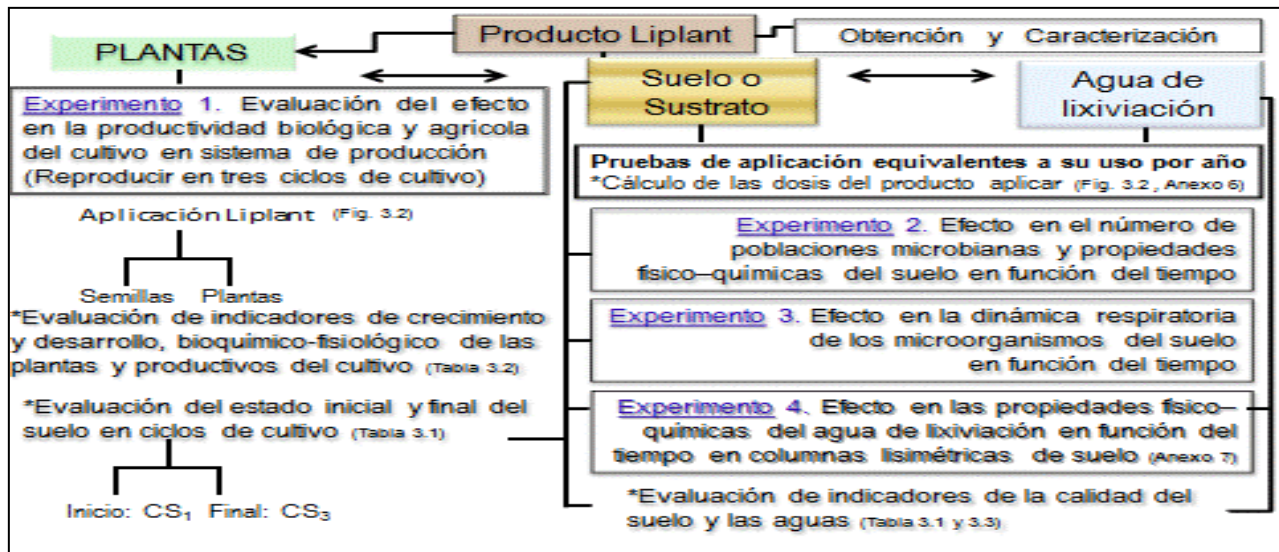


Figura 3.1. Procedimiento general desarrollado durante el estudio.

3.1. Evaluación del efecto de la aplicación de disoluciones de Liplant en la productividad biológica y agrícola del cultivo del tomate en experimento de campo

El estudio de campo se realizó en la Finca “Nuestra Señora de Regla” ubicada en el km 1 de la carretera de Zenea, entre los 82° 08” de latitud norte y los 22° 58” de longitud oeste, perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios “Manuel Fajardo” en la localidad de San José de las Lajas, provincia Mayabeque.

En el momento de la selección del suelo este había permanecido sin cultivar en el período no óptimo del cultivo, procedimiento seguido por el productor dentro de las medidas aplicadas para la conservación del suelo en etapas anteriores durante más de ocho años. Consisten de rotaciones intermedias entre el suelo no cultivado con mono o policultivos con maíz, frijol, hortalizas, mayoritariamente con tomate, la incorporación de los residuos de cosechas y de la vegetación natural a través del laboreo superficial del suelo. Además realiza adiciones de materia orgánica (MO) seca, compostada o vermicompostada y otros productos de fertilización, de acuerdo con la disponibilidad de los mismos en el mercado. Teniendo en cuenta estos antecedentes y al contar con un suelo conservado (Anexo 3a), se tomó como control el procedimiento de mejoramiento del suelo utilizado en la finca, sin adición de otros productos de fertilización para la evaluación del efecto de la incorporación de la aplicación de Liplant al cultivo en el sistema productivo de la finca.

La variedad de tomate evaluada fue Amalia que ha sido extendida en las áreas productivas del país (Álvarez *et al.*, 2003). Las etapas de semillero y de plantación se realizaron en monocultivo a campo abierto, en período óptimo de siembra (Gómez *et al.*, 2000), entre los meses comprendidos desde finales de octubre hasta marzo en los ciclos de cultivo de los años 2003-2004(CS₁), 2004-2005(CS₂), 2005-

2006(CS₃), que alternaron con períodos de suelo no cultivado. Se utilizó como superficie de estudio para los dos primeros ciclos de cultivo (CS₁ y CS₂) 4 500 m² y 5 500 m² para el CS₃. El procedimiento experimental seguido en la aplicación y la evaluación del efecto del Liplant se refleja en la figura 3.2 fundamentado con los criterios del Anexo 6.1. En la etapa de semillero se diseñaron tres tratamientos, con este fin, las semillas se dividieron en cuatro grupos: control (agua), Liplant en dilución 1:30 v:v (L1/30), y dos de ellos se sumergieron con dilución 1:40 v:v (L1/40), según procedimiento de la figura 3.2, posteriormente se sembraron en un marco de 0.01x0.05 m (Gómez *et al.*, 2000), distribuidos los tratamientos en el área siguiendo un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas por cada uno.



Figura 3.2. Procedimiento para la aplicación del Liplant. y evaluaciones a partir de los 3 días después de germinado (ddg) y 15 días después de cada aplicación (ddap).

En la etapa de plantación después de realizado el trasplante de las plántulas a los 30 días en los tres ciclos, se sembraron en monocultivo a una distancia de 1.4 x 0,30 m (Gómez *et al.*, 2000). Se mantuvo la distribución de los tratamientos con el mismo diseño experimental seguido en el semillero en las áreas de cultivo divididas en cuatro parcelas de 1125 m² (CS₁ y CS₂) y de 1375 m² (CS₃) en cada ciclo de cultivo. Los tratamientos realizados en el semillero se continuaron en esta etapa con dos aplicaciones foliares de Liplant con las mismas diluciones utilizadas, excepto para el segundo grupo de plántulas desarrolladas de las semillas tratadas con dilución 1/40, a las que se le aplicó foliarmente la dilución L1/30, combinando ambas diluciones de Liplant en un cuarto tratamiento que se denotó con la siglas LP (Fig. 3.2). Las aplicaciones foliares de Liplant se realizaron entre los 7-10 días después del trasplante (ddt), con un volumen final de 50 L.ha⁻¹ y la segunda de 150 L.ha⁻¹ a los 22-25 ddt, con un intervalo entre ellas de 15 días (Anexo 4.1). En las etapas de semillero y plantación se desarrollaron las atenciones culturales según

las normas establecidas en el Manual Técnico del cultivo (Gómez *et al.*, 2000), se eliminaron manualmente las planta arvenses, aplicación de riegos en una frecuencia de 7- 8 días, en caso de no ocurrir precipitaciones en ese intervalo de tiempo, fundamentalmente para los ciclos de cultivo CS₂ y CS₃, donde las precipitaciones fueron más escasas que los valores históricos característicos de la localidad (Anexo 2); con excepción de la aplicación de productos de fertilización y fitosanitario.

3.1.1. Indicadores de la productividad biológica y agrícola del cultivo

Los indicadores y métodos utilizados en las evaluaciones son reflejados y referidos en la Tabla 3.2, fueron seleccionados teniendo en cuenta los criterios informados en la literatura para la evaluación en el cultivo del tomate (NC 77-15:91, 1992) y la experiencia con la aplicación del producto en estudios anteriores (Garcés *et al.*, 2006). Para la evaluación en ambas etapas se seleccionaron 20 plantas por réplica para un total de 80 plantas por cada tratamiento. En la etapa productiva iguales cantidades de frutos de la segunda cosecha en los tres ciclos de cultivo.

Mediante las evaluaciones fitosanitarias realizadas durante el desarrollo del cultivo se detectó para el tercer ciclo (CS₃), la incidencia de una infección por *Begomovirus* (TYLCD) transmitido por la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn). A partir de su localización se realizó una dinámica de muestreo individual a cada planta entre los 15-45 días después de trasplantados (ddt), a 10 plantas por réplica para un total de 40 plantas para cada tratamiento. Se determinó el % de incidencia (porcentaje de plantas con síntomas por tratamiento) y la severidad (intensidad de la virosis por planta), según metodología para el complejo mosca blanca-*Begomovirus* en tomate propuesta por Murguido y Elisondo (2007).

Para evaluar la preferencia de los consumidores por los frutos obtenidos se entrevistaron 900 personas de la comunidad de San José de las Lajas, a través de preguntas abiertas y asequibles basadas en las cualidades del fruto (Anexo 5) y el apoyo de pruebas gustativas y al tacto, seleccionados según Pérez (2005).

3.1.2. Análisis económico de la producción

El balance económico se efectuó en moneda nacional por tratamiento y ciclo de cultivo (FAO, 2011). El rendimiento (t.ha⁻¹) se calculó a partir de la producción total por área de tratamiento extrapolada a una hectárea. El valor de la producción (\$.ha⁻¹) se fijó el precio de tomate en \$31,50.kg⁻¹(ONE, 2011). Se asumió los gastos incurridos por la aplicación y el precio de un Litro de Liplant \$120 (tarjeta de costo, 2004).

3.2. Evaluación de propiedades físicas, físico-químicas del suelo en la finca de producción

Las propiedades evaluadas al inicio del primer ciclo y al final del tercer ciclo de cultivo y el procedimiento seguido en la preparación de muestras estándar de suelo aparecen reflejadas en la Tabla 3.2 y Fig. 3.3, respectivamente.

Tabla 3.2. Indicadores de crecimiento, bioquímico-fisiológicos y productivos evaluados en el cultivo.

Variables	Acrónimo	Procedimiento y métodos (Referencias)	Semillero	Plantación
Germinación de semillas	%G	Conteo	(3 - 7 dds)	
Índice del germinación	IG	Cálculo $IG = \%G * Lr(\text{tratamiento}) / Lr(\text{Control})$ (Ramos, 2000)		
Largo y diámetro del tallo (cm)	LT	Regla y Pie de rey (Paneque, 2002).	10, 17, 24,30 dds	52-54 y 67-69 dds
Índice de crecimiento	IC	Cálculo: $IC = LT(\text{cm}) / \text{tiempo}(\text{días})$	masa 9dds y masa 24dds	
Tasa relativa de crecimiento ($\text{g.g}^{-1}.\text{d}^{-1}$)	TRC	$TRC = (\ln \text{msf} - \ln \text{msi}) / (\text{tf} - \text{ti})$		
Tasa asimilación neta ($\text{g.cm}^{-2}.\text{d}^{-1}$)	TAN	$TAN = [(msf - msi) / (AFf - AFi)] [(\ln AFf - \ln AFi) / (Tf - Ti)]$		
Rel. TRC (Biomasa total /aérea foliar)	α	(Valdés- Balbín, 2000; Benicasa, 2004)		
Número de hojas	nH	Conteo (Paneque, 2002)	10, 17, 24,30 dds	52-54 y 67-69 dds
Foliar		Colorimétrica : UV-visible <i>Rayleigh-1601</i>	24 dds	
Contenido de Almidón (mg.g mf^{-1})	Alm.	$\lambda=620\text{nm}$ (Bernfeld, 1955)		
Carbohidratos reductores ($\mu\text{gGl.gmf}^{-1}$)	CR	$\lambda=480\text{nm}$, patrón glucosa 1mgL^{-1} .		
Proteínas solubles totales ($\mu\text{g prot. .gmf}^{-1}$)	Prot.	(Noelting y Bernfeld, 1948)		
Pigmentos fotosintéticos($\mu\text{g.ml}^{-1}\text{ ext.}$)	Pig fot.	$\lambda=595\text{nm}$, patrón albúmina- BSA 0.01%. (Bradford, 1976)		
Cont. hierro foliar (ppm)	Fe	$\lambda=470,647,667\text{nm}$, (Lichtenthaler, 1987) Mineralización vía seca, HCl (6M), Espectroscopía absorción atómica (NRIAL498, 1981)		
Área foliar (cm^2), Area foliar específica, $AFE=Aft/msh$ ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)	aF AFE	Cálculo con el programa, Delta-T Scan Versión 2,04 (DeltaT Devices, Ltd, 1996) de las hojas escaneadas	24 dds	
Masa fresca aérea y raíces, hojas (g)	MF	m. gravimétrico.		
Masa seca aérea y raíces, hojas (g)	MS	B.analítica BS-124SB d $\pm 0.0001\text{g}$), estufa Venticel 707		
Longitud de raíces (cm)	LR	Regla (Paneque, 2002))		
Rendimiento (t.ha^{-1})	R	Cálculo (FAO, 2008)		
Iones en el agua	Fe	Absorción atómica SP9 (NRIAL498, 1981).	columnas	
Número de flores y frutos por plantas	nF, FP	Conteos (Paneque, 2002)		42 y 69dds
Severidad (intensidad virosis / plantas).	___	(Murguido y Elisondo, 2007)	CS ₃ 15-45 ddt	
Calidad externa e interna del fruto (NC 77-15:91, 1992)				
Masa fresca y seca de frutos (g)	mF,mS	m.gravimétrico (Paneque, 2002)		69 dds
Diámetro polar y ecuatorial frutos (cm)	DP,DE	Pie de rey (Paneque, 2002)		
pH	pH	m. potenciométrico (NC 7722-01: 82a)		
Sólidos solubles totales (%)	SST	método por valoración (NC 7722-04: 82 C)		
Acidez titulable (%)	ácidez	método de Muris (NC 7722-07: 82 B)		
Vitamina C (mg/100g Fruto)	Vc	(NC 77-1591-92, Cuba Control)		
Firmeza (kg/ fuerza)	F	Penetrómetro Bishop FT 327		
Cont P,K, N, Nitrato fruto y foliar (%)		Mét. Microkjedahl+UV Fotometría llama Corning410 Colorimetría Espectrofotómetro Zuzzi UV-4200 (NRIAL498, 1981)		

3.3. Evaluación del efecto de la aplicación del Liplant en propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo y las aguas de lixiviación en el tiempo en experimentos de laboratorio

Para el estudio en el laboratorio se eligió un suelo FRL con baja actividad antrópica (Vidal, 2005)² en un área de 135 m², no cultivado por más de 40 años aproximadamente, con predominio de una vegetación espontánea (Anexo 3.2). La parcela se encuentra situada a los 23° 00' de la latitud norte, y los 32° 12' de longitud oeste. La altitud era de 134,3 m s.n.m. en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).

Los experimentos se desarrollaron durante el período de marzo 2005 a diciembre 2007, bajo condiciones controladas y semicontroladas en el laboratorio (Fig.3.1). Se siguieron tres vías para la evaluación con:

(I) macetas (II) frascos herméticos en condiciones controladas (III) columnas lisimétricas de suelo (Fig. 3.3).

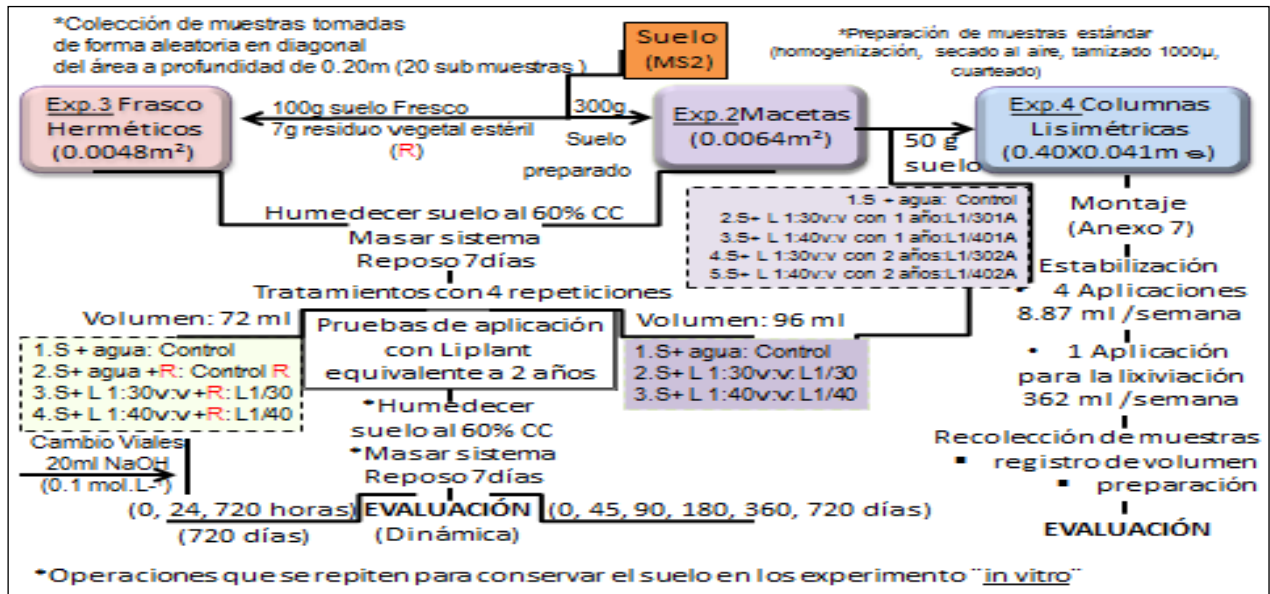


Figura 3.3. Procedimiento para la evaluación del efecto del Liplant en las propiedades del suelo y el agua

Los criterios seguidos para la selección de las diluciones y las dosis de Liplant utilizadas se reflejan en el Anexo 4.2. Los tratamientos se asignaron aleatoriamente con cuatro repeticiones por cada uno.

3.3.1. Efecto del Liplant en poblaciones microbianas y propiedades físico-químicas del suelo

A las macetas con 300g de suelo preparado se le añadieron los tratamientos con Liplant: dilución 1:10 y 1:20

2. Vidal Z. Comunicación personal. Trabajador del área. INCA. Enero 2005.

v:v, según la cantidad calculada (Anexo 4.2). Al suelo control se le aplicó igual volumen de agua destilada. Los suelos se mantuvieron al 60% de la capacidad de campo en condiciones semicontrolas durante dos años.

El número de microorganismos del suelo se cuantificó a través de la identificación de las bacterias totales, actinomicetos y hongos a través del método de las diluciones seriadas y siembra en placas de Petri, con medios de cultivos selectivos para su desarrollo (tabla 3.4), en condiciones de incubación a $28 \pm 2^\circ\text{C}$, ubicados los tratamientos de forma aleatoria y observados cada 24 horas

MICROORGANISMO	Suelo	Agua	Medios de cultivos.
Bacterias totales	10^{-6}	10^{-1}	Agar Topping y nutriente
<i>Pseudomonas</i> sp	10^{-4}	-----	Agar King B
<i>Azospirillum</i> sp	10^{-2}	-----	(Nfb-RC)
<i>Azotobacter</i> sp	10^{-3}	-----	Agar Ashby
<i>Bacillus</i> sp	10^{-6}	-----	Agar nutriente
Nitro fijadoras totales	10^{-4}	-----	Nfb semisólido
Actinomicetos	10^{-2}	-----	Agar Almidón Caseína
Hongos	10^{-4}	-----	Agar Martin-Rojo congo

Tabla 3.4. Diluciones y medios de cultivos utilizados en las evaluaciones microbiológicas. (Mayea *et al.*, 1991).

Paralelamente se evaluaron las propiedades de los suelos (Tabla 3.2). Para la realización de los estudios espectroscópicos (UV visible y FTIR) de los AH de los suelos de cada tratamiento fueron purificados por diálisis

(Spectra/PorCE Cellulose Ester Membranes, MWCO: 100, diámetro de 10 mm Volumen: 10 ml) y liofilizados. Los espectros FTIR se determinaron a temperatura ambiente, con una frecuencia de barrido de 400 a 4000 cm^{-1} y resolución de 4 cm^{-1} . Las muestras se prepararon con una mezcla de 3 mg de AH en 250 mg de KBr comprimida para la obtención de las pastillas de lectura. Las atribuciones de las bandas son designadas según Art y Campbell (2008).

3.3.2. Efecto del Liplant en la actividad respiratoria de los microorganismos del suelo en el tiempo

La determinación de la actividad respiratoria de los microorganismos del suelo inducida por la adición de residuo vegetal estéril (R) a frascos herméticos con 100 g de suelo fresco al 60% de la capacidad de campo se desarrolló a través del procedimiento reflejado en la Figura 3.3. Fueron montados de forma aleatoria con cuatro repeticiones en el sistema de incubación a temperatura controlada ($30 \pm 2^\circ\text{C}$). Se crearon tres controles: suelo con y sin adición de (R) (respiración basal) y un Blanco con NaOH ($0,1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) para eliminar errores por manipulación, además los tratamientos de suelo con Liplant (L1/10 y L1/20). El cambio de viales se realizó según la dinámica de evaluación (Fig.3.3). Para la determinación se tituló con HCl $0,11\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ el sobrenadante del precipitado formado por la adición de BaCl_2 a $3\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Santos y Camargo, 2008).

3.4. Evaluación del efecto del Liplant en propiedades físico-químicas del suelo y las aguas lixiviadas

Se embalaron en las columnas lisimétricas 50g de suelo de cada tratamiento con uno y dos años de las macetas a través del procedimiento seguido en la Fig. 3.3. Este consta de cuatro pasos fundamentales: (I) montaje, preparación y estabilización de las columnas (Anexo 6.1). (II) Cálculo de la lámina de agua que se adiciona a las columnas desglosadas en dos etapas (Estabilización y Lixiviación) según criterios reflejados en el Anexo 6.2. (III) recolección y preparación de las muestras. Se evaluó de manera inmediata la temperatura (°C), el pH y la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Se fijó el oxígeno disuelto $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ con disolución de MnSO_4 y Alcali-Ioduro-Azida contenida para su posterior valoración (Tabla 3.3). Paralelamente se evaluaron los indicadores del suelo (Tabla 3.1).

Procedimientos generales para el análisis estadístico de la información

Para procesar los datos de las variables evaluadas se utilizó el paquete estadístico Statgraphics Plus versión 5.1. En el experimento de campo se utilizó un diseño experimental por bloques al azar con cuatro réplicas por tratamientos y se aplicó la prueba paramétrica de análisis de varianza de clasificación doble, para el estudio de los indicadores biológicos, productivos, calidad de los frutos y de las propiedades del suelo entre los tratamientos, con etapas de evaluación y con ciclo de cultivo. Se empleó también la prueba de comparación múltiple de Tukey para detectar diferencias con una significación del 5%. En el análisis de las variables conteo de número de hojas, flores y frutos por planta se aplicó la transformación \sqrt{n} y para las variables porcentaje de germinación y de incidencia del *Begomovirus* la transformación $x = 2 \arcsen \sqrt{\%}$. La variable rendimiento y la variable sólidos solubles totales del fruto (SST) se correlacionaron con cada una de las variables (de crecimiento, producción y calidad del fruto). Además se correlacionaron los contenidos de nitrógeno y hierro foliar con el de clorofilas totales (cla+b).

En los experimentos de laboratorio se empleó un diseño experimental completamente aleatorizado con cuatro repeticiones por tratamientos. Se aplicó la prueba paramétrica de análisis de varianza de clasificación simple para el estudio de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y el agua de lixiviación para los tratamientos, en cada momento de evaluación. Además se empleó la prueba paramétrica de análisis de varianza doble para el estudio de la variación de las propiedades del suelo en cada uno de los tratamientos a través del tiempo. La prueba de comparación múltiple de Tukey para detectar diferencias entre los tratamientos con una significación del 5% fue empleada en cada situación estudiada. Para el análisis de la variable conteos de microorganismos se empleó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis para k muestras independientes. Se establecieron correlaciones entre las variables: (I) contenido de Ca^{2+} , con %C (AH) y

CCB en los suelos (II) coeficiente óptico E2/E3 y la absorbancia a 280 nm como resultado de los espectros UVVisible de la MOD en las aguas lixiviadas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

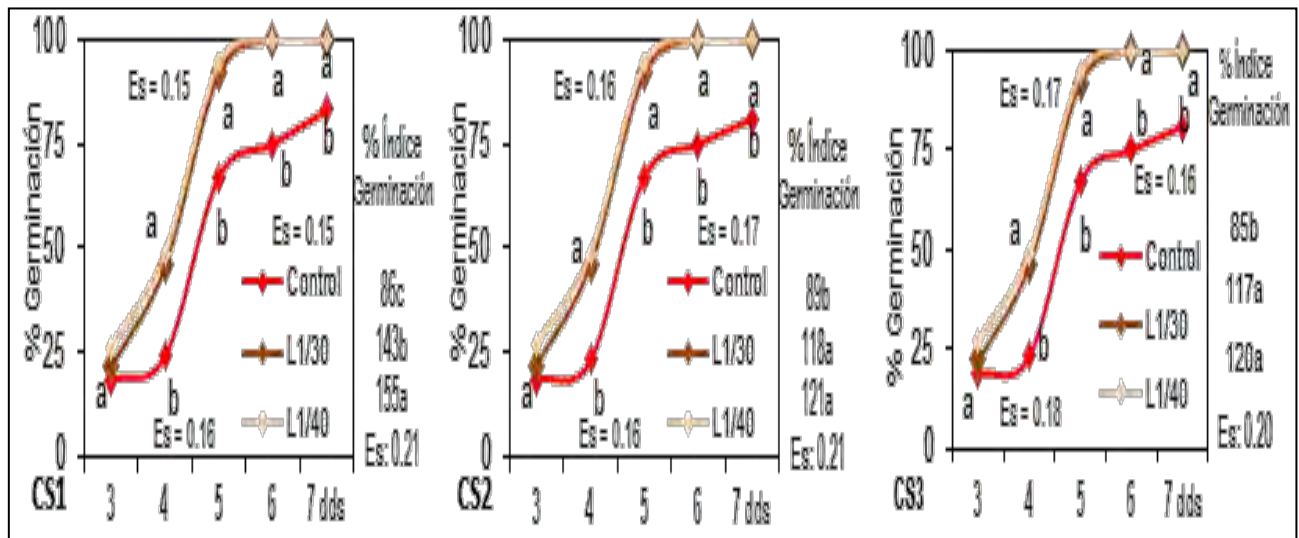
4.1. Evaluación de efectos de la aplicación de Liplant en la productividad biológica y agrícola del cultivo del tomate en experimento de campo

4.1.1. Indicadores crecimiento y bioquímicos de las plantas

Los valores medios obtenidos en los indicadores de crecimiento y bioquímicos de los tratamientos con Liplant se diferenciaron significativamente ($p < 0,05$) respecto al control.

Etapa de semillero

El tratamiento de las semillas con las diluciones de Liplant provocó la reducción del tiempo requerido para alcanzar el 100% de germinación (Fig.4.1).



(Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 4.1. Dinámica del porcentaje de germinación de las semillas e índice de germinación por tratamientos en cada ciclo de cultivo evaluado.

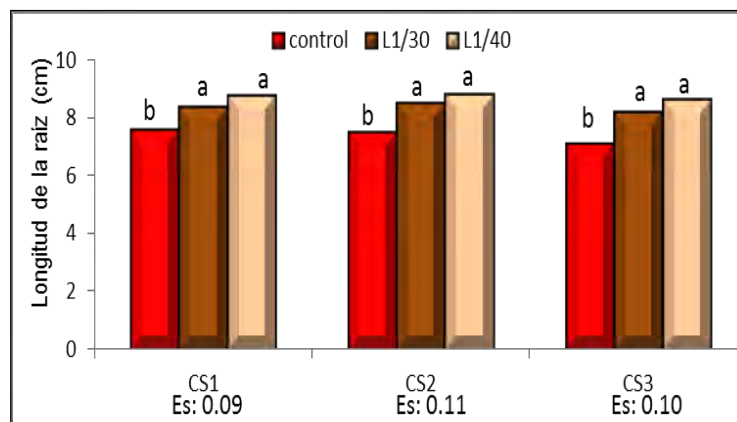


Figura 4.2. Valores medios de la longitud de la raíz de las plántulas a los 24 dds por tratamiento en cada ciclo de cultivo.

(Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclo de cultivo según, Tukey, $p \leq 0.05$).

Entre los tres y cuatro días después de la siembra (dds), las semillas tratadas con Liplant tenían duplicados los valores del porcentaje de germinación, con estimulaciones finales a los siete dds entre un 25–36% y en el índice de germinación entre un 116-122% respecto al control. Resultados que se corresponden también con la estimulación ocurrida en la longitud de la raíz (LR) que se incrementó entre un 18-20% (Fig. 4.2).

La superación de la dormancia de las semillas de diferentes cultivos entre los que se encuentra el tomate, puede ser estimulada por la aplicación exógena de hormonas de crecimiento vegetal que provocan un desbalance hormonal en la mismas, induciendo el proceso de germinación (Groot, 1987).

Estos autores refieren la acción de giberelina en la señalización postranscripcional de la expresión del gen de la enzima α amilasa que provoca su estimulación, lo cual conlleva a la hidrólisis del almidón, para ser consumido durante el desarrollo de las funciones metabólicas de crecimiento y desarrollo, fundamentalmente en la formación de biomasa en los diferentes órganos, como en la inducción de la formación, emisión, crecimiento de la raíz y de las primeras hojas, refiriéndolo como una acción auxínica (Taiz y Zegger, 2005).. lo que determina una producción y consumo de almidón en plantas de tomate por el gran consumo energético,

En relación con esto, otros autores (Qualloty *et al.*, 2004; Lima *et al.*, 2009; Nardi *et al.*, 2009; Zandonadi *et al.*, 2010; Aguiar *et al.*, 2011; Canellas *et al.*, 2012), señalaron este efecto en las semillas con la aplicación de sustancias húmicas (SH) de diferentes orígenes, como los extraídos de vermicompost y plantearon posibles mecanismos de acción que aún no están totalmente esclarecidos por la literatura, bajo una acción *Like-hormone*, en este caso equivalente a las auxinas en la dormancia apical y la estimulación del desarrollo de la raíz acompañado de la estimulación de la síntesis y la actividad de la enzima H⁺-ATPasa de la membrana plasmática, lo que llevaría a la inducción de la pared celular con el aumento de la expansión celular, de esta forma se modificaría también la permeabilidad de la misma por el incremento de la extrusión de protones y facilita el paso a través de ella.

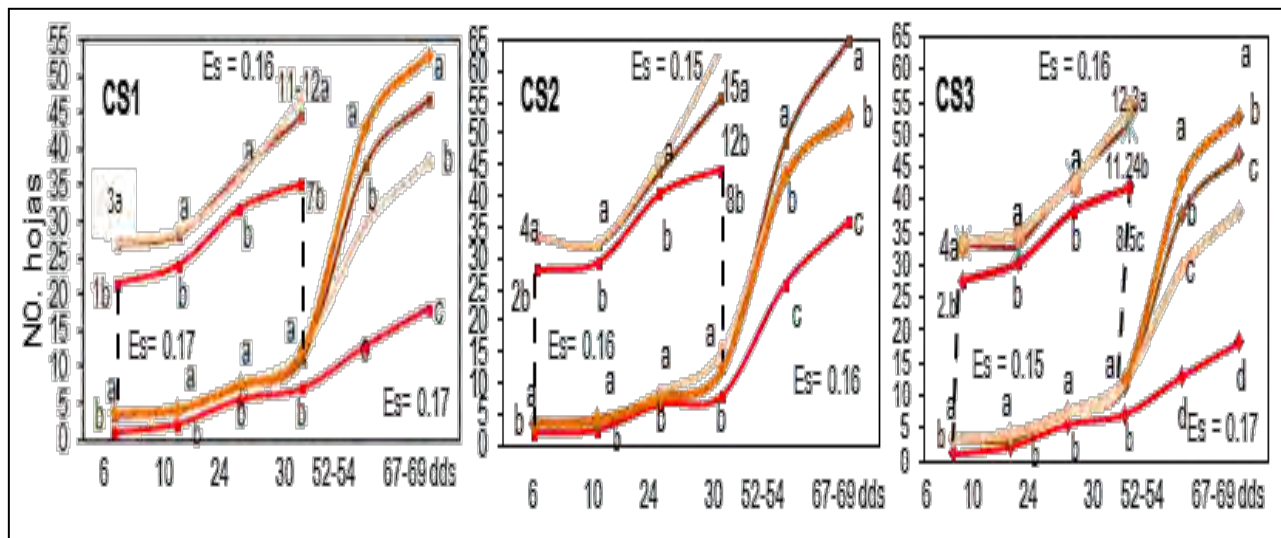
Por su parte, Martínez (2006) comprobó al aplicar Liplant en las diluciones entre 1/20-1/40 vía radicular a plántulas de Maíz (*Zea mays* L), la estimulación de la actividad de la enzima H⁺-ATPasa de la membrana plasmática de las raíces entre un 80-85% con mayor efecto para la dilución de 1/40, lo que posibilitaría una mayor eficiencia en la absorción y la transportación de los nutrientes y del agua a través de dicha membrana. Se corresponden los resultados obtenidos en estudios de germinación con semillas de soya (*Glycine max* L.) al ser embebidas en diluciones de Liplant estos intervalo concentraciones (Huelva, 2004) y en frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) CC-25-9-N (Palacio, 2012) cuando aplicaron 40 y 60 mg.L⁻¹de AH extraído de

vermicompost que le da origen al Liplant, presentaron un patrón semejante con la menor dilución más alta aplicada.

Estos antecedentes pueden corresponderse también con los resultados obtenidos con la aplicación del Liplant a las diluciones evaluadas, pues en él estaría comprometida en el efecto la acción conjunta o individual de: (I) la composición hormonal, en esta etapa fundamentalmente de giberelinas y auxinas, (II) las fracciones húmicas de baja masa molecular con actividad equivalente a estas hormonas del crecimiento vegetal, (III) los aminoácidos (IV) la fracción mineral, como los metales Mg y fundamentalmente el K que se encuentra en mayor proporción en el producto debido a su proceso de obtención (Anexo 1).

El potasio entre otras funciones interviene también en la estimulación de la actividad de la enzima H⁺-ATPasa de la membrana plasmática, facilitando su permeabilidad (Martínez, 2006); estos metales pueden estar asociados a estas fracciones orgánicas formando complejos organominerales (Caro, 2004; Calderín 2011) y contribuir también a efectos como los alcanzados en la germinación y posteriormente en las etapas del crecimiento y desarrollo de las plantas, al desencadenando un conjunto de respuestas que accionan sobre su metabolismo induciendo la estimulación de los diferentes procesos que intervienen (García-Mina *et al.*, 2000), como puede apreciarse en los resultados que se exponen a continuación.

En la dinámica de desarrollo foliar mantuvo semejante patrón con la estimulación de la raíz, los valores del número de hojas y el área foliar específica se duplicaron con el desarrollo del cultivo para las semillas tratadas con el producto (Fig. 4.3 y 4.4).



Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclo de cultivo, Tukey, $p \leq 0.05$

Figura 4.3. Dinámica del crecimiento y desarrollo foliar de las plántulas para cada tratamiento y ciclo de cultivo.

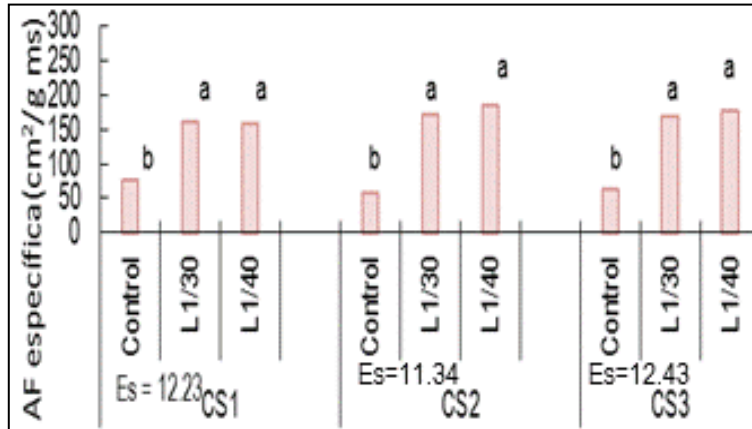
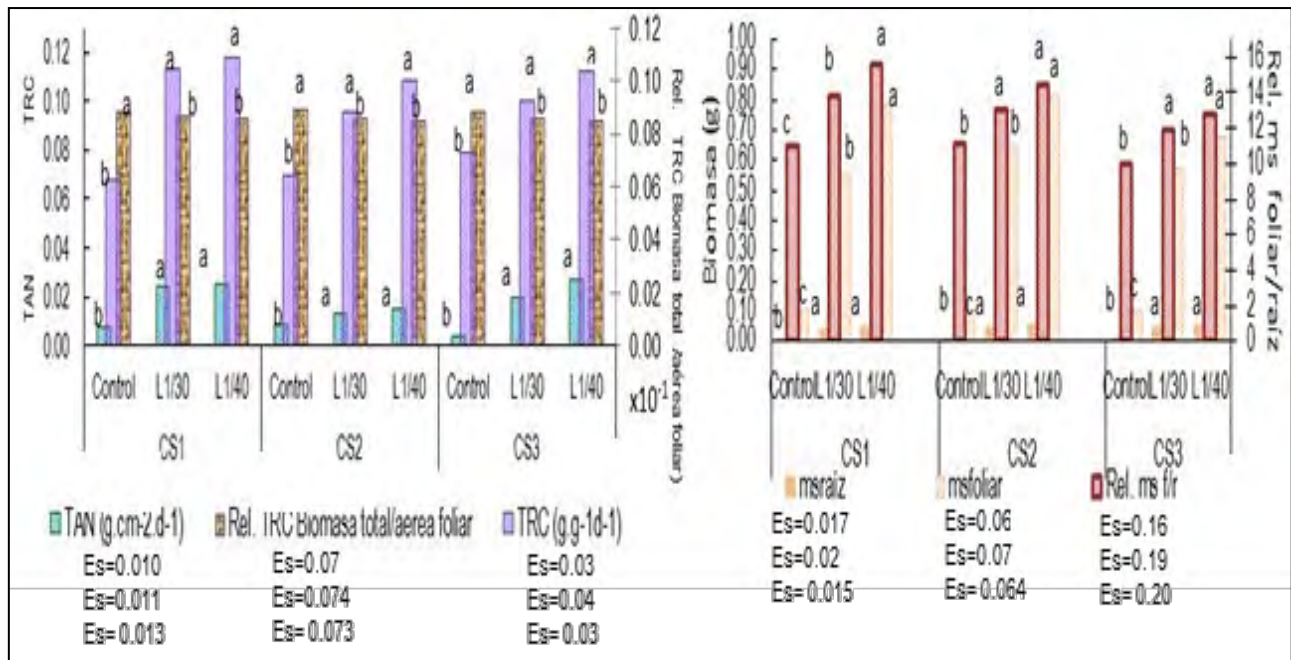


Figura 4.4. Valores medios del área foliar específica de las plántulas.

(Letras desiguales reflejan diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclo de cultivo, Tukey $p \leq 0.05$).

Se destacó la estimulación encontrada en la emisión de la tercera hoja respecto al control. Este indicador junto a la emisión de la raíz sugieren precocidad en la etapa inicial del desarrollo del cultivo de tomate (Dibut *et al.*, 2010).

Se obtuvo una mayor acumulación de biomasa en estos órganos, con incrementos en la masa seca foliar de tres a cinco veces y en la raíz de cinco a nueve veces con diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en relación al control (Fig. 4.5).



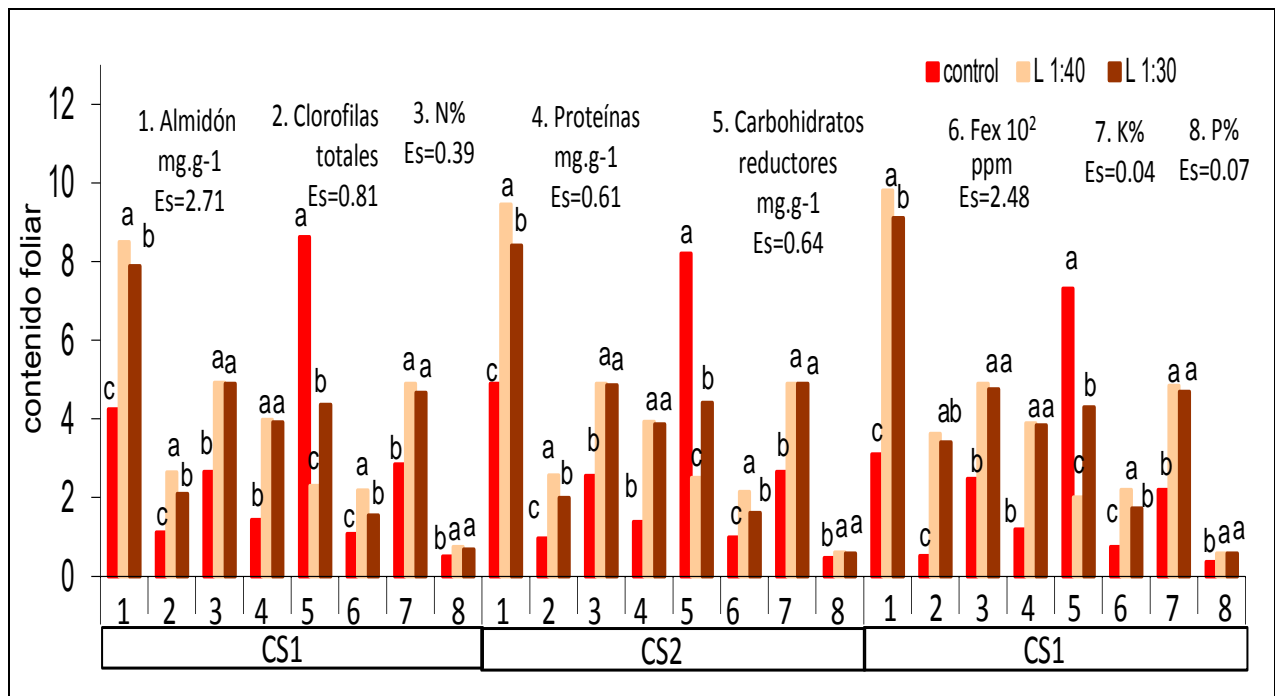
(Letras desiguales reflejan diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclo de cultivo, Tukey $p \leq 0.05$).

Figura 4.5. Efecto del Liplant en el crecimiento de las plántulas por tratamientos y ciclo de cultivo. (a) Valores medios de la tasa de asimilación neta (TAN), tasa relativa de crecimiento (TRC), relación TRC (Biomasa total /AF). (b) formación de masa seca (ms) de la raíz (r) y foliar (f), relación masa seca (foliar / raíz).

Los valores medios obtenidos en la relación de la masa seca foliar y de la raíz para los tratamientos mostraron un desarrollo adecuado de las plantas (Fig. 4.5). Para los tratamientos con Liplant se incrementaron de tres a cuatro veces en relación al control, lo cual indicó un desarrollo acentuado al estar favorecidos procesos más eficientes en la captación y absorción de los nutrientes y de agua en las condiciones de la rizofera, producto de la estimulación de la longitud de la raíz que facilita además el sostén de las plantas (Canellas *et al.*, 2008b; Roca *et al.*, 2009); el desarrollo foliar posibilita un aumento de la disponibilidad de la superficie para la captación de la luz para realizar un mayor aprovechamiento del consumo energético en la formación de los pigmentos fotosintéticos.

Este efecto puede incidir en la mayor eficiencia de los procesos dependiente de la luz como la fotosíntesis (Flood *et al.*, 2011), la nitrificación (Aeschbader *et al.*, 2012) y por consiguiente la regulación interna de la planta relacionada con la demanda de los asimilatos (Valdés y Balbín, 2002; Benicasa, 2004).

En este sentido, se obtiene un incremento en el contenido de clorofila que se duplicó respecto al control para los tratamientos con Liplant (Fig. 4.6), con mayor expresión con el tratamiento L1/40.



Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamiento en cada ciclo de cultivo, según Tukey, $p \leq 0.05$
Figura 4.6. Valores promedio del contenido de asimilatos y nutrientes foliares por tratamiento a los 24dds (días después de sembrada).

En correspondencia con estos resultados, Pintor *et al.* (2011), al evaluar los efectos de la aplicación de AH en bajas concentraciones en plantas de tomate, refirieron una mayor eficiencia en el proceso fotosintético con un incremento de la masa seca de la raíz y foliar. Anteriormente (Ramos, 2000; Elena *et al.*, 2009), refirieron trabajos realizados con este cultivo y aplicación de SH comerciales donde no se plantean una dilucidación clara del efecto por la aplicación de estas sustancias, informaron como hipótesis modificaciones en el metabolismo de síntesis de clorofila, relacionado con el incremento del contenido foliar de Fe en tomate, al establecer correlaciones ($r=0.97$, $p<0.05$) en los aumentos del contenido de estos indicadores foliares, unido a un incremento de almidón y carbohidratos reductores, consumidos para el abastecimiento de la energía necesaria en función del efecto provocado con la estimulación del crecimiento.

Por su parte, Szpoganicz y Brascher (2011) informaron un rol importante de las aplicaciones de SH en el aporte de Fe a las plantas, al estudiar las interacciones entre metales y AH, mediante la evaluación espectroscópica (FTIR).

Los resultados alcanzados se corresponden con los antecedentes antes expuestos, pues se obtuvo un incremento en el contenido de nutrientes en las hojas con la aplicación del producto (Fig. 4. 6).

Precisamente, el contenido de Fe foliar llegó a triplicar su valor con los tratamientos con Liplant respecto al control, este se correlacionó ($r=0.95$, $p <0.05$) con el incremento del contenido de clorofilas totales. Semejante patrón se presentó para el aumento del contenido de almidón foliar que llegó duplicarse en relación al control, más significativo para el L1/40 (Fig. 4.6), lo cual puede estar relacionado fundamentalmente con la estimulación de la raíz, pues necesitaría una mayor cantidad de almidón para su mantenimiento durante la noche en esta fase de rápido crecimiento.

Este efecto explicaría además, la disminución de los contenido de carbohidratos reductores foliares obtenido, más significativo para el tratamiento L1/40, el cual manifestó mayor expresión en la estimulación, presentando un mayor consumo por la estimulación provocada.

Con relación a esto Canellas (2005), informó la influencia de los AH extraídos de vermicompost en la actividad de enzimas reguladoras de la síntesis del almidón en cultivos como el tomate, debido a un efecto de tipo auxina.

Debido a esto, (Echenagusía, 1999; Huelva, 1996, Martínez, 2006; Hernández, 2010), refieren esta acción con la aplicación de extractos de vermicompost, como el Biostan cultivos *in vitro* de plátano macho (*Musa* spp. var. FIAH-03), maíz y lechuga (*Lactuga Sativa*), con gran consumo de carbohidratos reductores foliar para los tratamientos que presentaron mayor incidencia sobre la estimulación, con incremento de contenido

de almidón, aminoácidos y proteínas totales foliar en las primeras etapas de crecimiento de los cultivos. Por

su parte, Terry *et al.* (2010), al aplicar Biostan al tomate Amalia obtuvo incrementos en los contenidos de P; K; N, con incremento en la biomasa foilar.

Referente a esto (Quaggiotti *et al.*, 2004; Mora *et al.*, 2010), refirieron correlación entre el incremento de clorofilas y el N-NO₃ foliar ($r=0.90$, $p<0.05$), cuando aplicaron AH de vermicompost a los cultivos. Plantearon una acción sobre el metabolismo del nitrógeno de las plantas en enzimas involucradas en su asimilación (nitrato reductasa, glutamato sintetasa, glutamina sintetasa) que conllevaron a un efecto directo en la distribución de NO₃⁻ foliar y radicular.

Estos informes pueden ratificar también el aumento del contenido foliar de K (67%), P (8-13%), N (85%) y el contenido de proteínas totales que triplicó su valor con la aplicación de Liplant con relación al control (Fig. 4.6). Se establecieron correlaciones entre el incremento de los valores del contenido de clorofilas y el de N-NO₃ foliar ($r=0.87$, $p<0.05$). Los aminoácidos presentes en el Liplant puede ser otro factor que influya en el balance del nitrógeno ya que contiene aminoácidos en mayor porcentajes el ácido aspártico, el cual se relaciona con la formación de otros por medio de la transaminación, influyendo en la síntesis de proteínas (Caro, 2004).

Estos efectos del producto sugieren una mejora en la eficiencia en la absorción, transporte de los nutrientes y se relacionan con la producción de la biomasa acumulada con los tratamientos con Liplant, los que tienen gran importancia para el abastecimiento de las necesidades metabólicas en las plantas, con altas demandas durante el desarrollo de las flores y los frutos (Taiz y Segger, 2005).

El análisis de las tasas relativas de crecimiento (TRC) calculadas entre los 9 y 24 dds para cada tratamiento en los tres ciclos de cultivo (Fig.4.5), fundamentaron los resultados alcanzados, al encontrarse diferencias significativas ($p<0,05$) entre los tratamientos con Liplant respecto al control, lo cual se corresponde con la mayor producción de biomasa. De acuerdo con lo planteado por Valdés y Balbín (2002) y Benicasa (2004), este mayor índice de eficiencia en el crecimiento y comportamiento fisiológico de las plantas sugiere un balance adecuado entre la capacidad potencial del proceso de fotosíntesis y del gasto respiratorio.

En el caso del tomate, planta de tipo C3, se incluye la fotorespiración, lo que evidencia que la aplicación del Liplant sería aún más ventajosa en este tipo de cultivo poco eficiente. Esto puede incidir en que el proceso fotosintético se vea favorecido con la aplicación del Liplant con relación al control y por ello el incremento en la producción de biomasa en función de la superficie asimilatoria, según lo sugerido por el aumento de

la tasa de asimilación neta (TAN). Este indicador sugiere (Benicasa, 2004), una medida indirecta de las ganancias netas de asimilatos por unidad de superficie foliar con relación al control (Fig. 4.5).

Los valores menores que la unidad obtenidos en la relación establecida de la TRC de la biomasa total entre la foliar, indicaron que la distribución de asimilatos favoreció en esta etapa la mayor formación hojas del área foliar específica incrementada en las plántulas tratadas con Liplant respecto al control (Fig.4.5).

Este desarrollo foliar y en la raíz pueden ser también efecto de la presencia de estructuras precursoras de citoquininas y fundamentalmente de auxinas en el Liplant (Caro, 2004), las cuales tienen una acción en la elongación y multiplicación celular, cuestión que pudiera justificar la estimulación en el desarrollo en estos órganos (Taiz y Zegger, 2005), acompañados de un mayor consumo de carbohidratos reductores.

Estos antecedentes pueden apoyar las disminuciones encontradas en el contenido de carbohidratos reductores en los tratamientos con Liplant, más significativo para el L1/40, los cuales presentaron una mayor estimulación sobre la elongación y multiplicación celular, provocando un mayor gasto de energía al ser más rápida su utilización y su posible incorporación en las diferentes vía metabólicas como la síntesis de aminoácidos y proteínas (Fig.4.5).

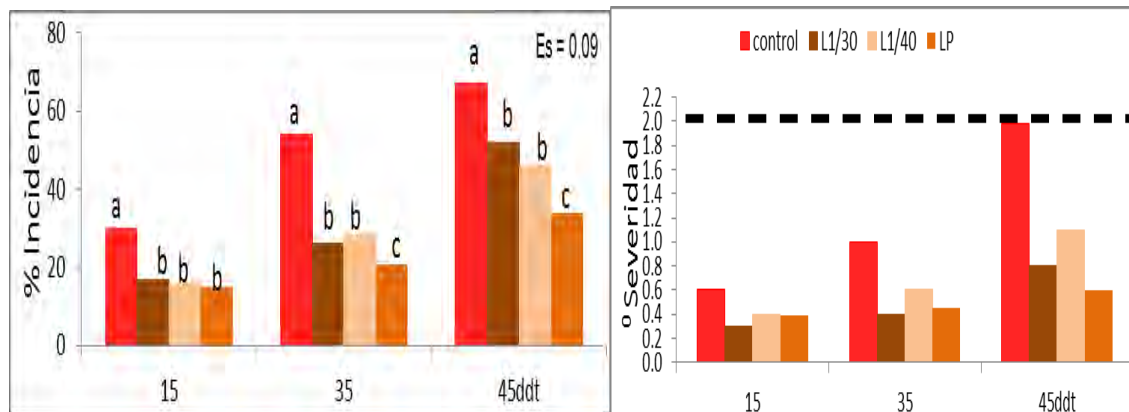
Bajo estas condiciones las plántulas desarrolladas de las semillas tratadas con Liplant a los 24 dds ya contaron con los requisitos referidos para efectuar ventajosamente el proceso de trasplante, su adaptación y posterior desarrollo en las plantaciones (Casanova *et al.*, 2007). Los resultados sugieren una mayor eficiencia de los procesos de crecimiento en las plantas, a través de la estimulación alcanzada con los tratamientos con Liplant, pues se obtienen plántulas con mayor calidad en un menor tiempo de producción en la etapa de semillero, siendo ventajosa también la utilización de la mayor dilución del producto (L1/40).

Etapas de plantación

A partir de este momento se destacó como dilución más promisorias, la más concentrada (1:30 v:v), tanto en el tratamiento L1/30 como en el LP, sin encontrar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre ellos en los resultados alcanzados. Sin embargo, para el control en el tercer ciclo reflejó disminuciones.

Esto se debió fundamentalmente a la incidencia del *Begomovirus* transmitido por la mosca blanca ocurrida a partir de los 15 dds, pues se manifestó una mejor repuesta de las plantas tratadas con relación al control, con diferencias significativas ($p < 0,05$), entre ellos en el porcentaje de incidencia del virus, la que se incrementó con el desarrollo del cultivo. En los primeros momentos las disminuciones fueron menores en un 4% en el cultivo con Liplant en relación al no tratado, en la tercera evaluación las diferencias entre ellos alcanzaron un 68,4% (Fig. 4.7). El grado de severidad se presentó con síntomas leves, con disminuciones entre un 40-69% para los tratamientos con Liplant respecto al control, el cual alcanzó grado 2 (Murguido y

Elisondo,2007).



(Letras desiguales reflejan diferencias significativas entre los tratamientos en el ciclo de cultivo CS3, Tukey $p \leq 0.05$).

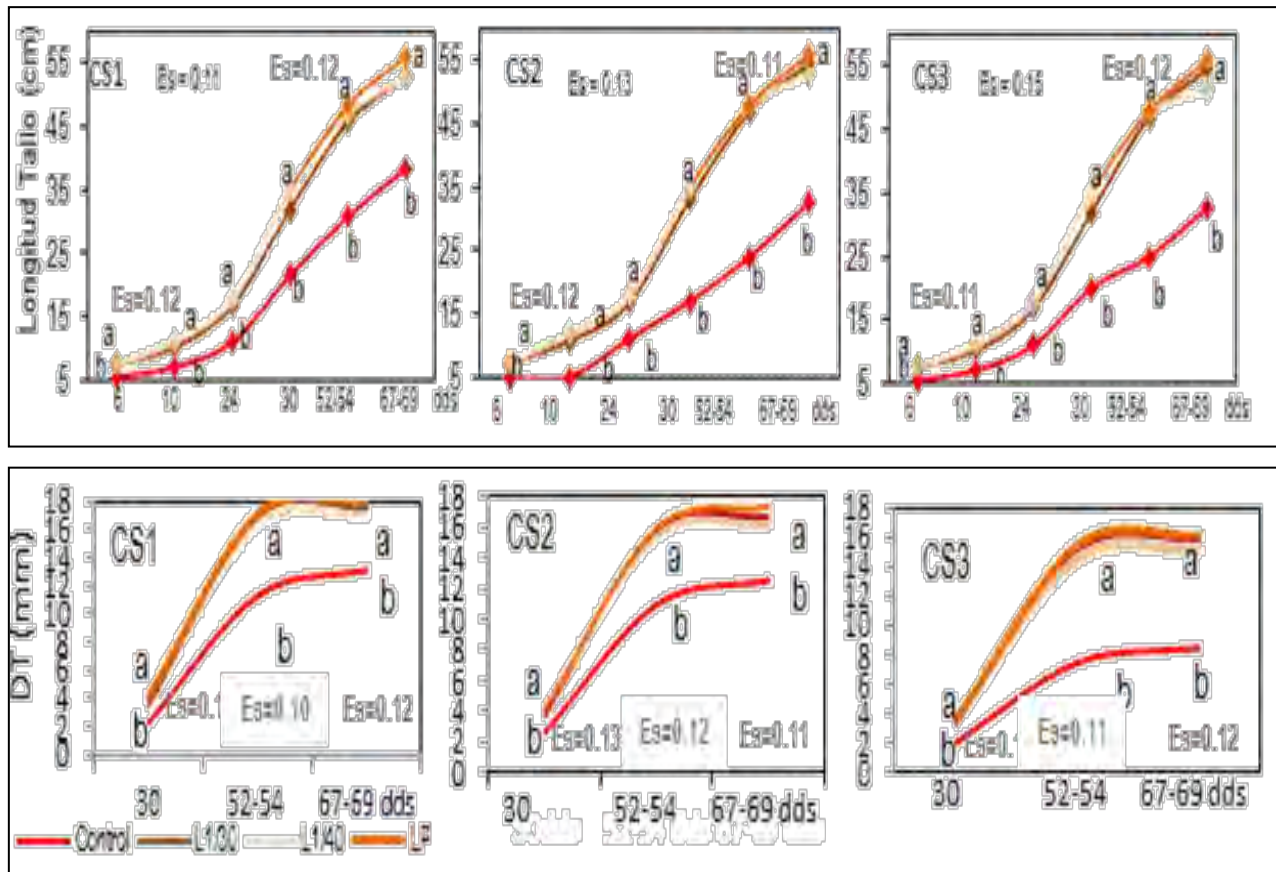
Figura. 4.7. Valores promedio de (A) severidad *. (B) intensidad expresados por el cultivo en el estudio ante la infestación por el *Begomovirus* (TYLCV) transmitido por la mosca blanca (*Bemisia tabaci* Genn), evaluado entre los 15 a 45 días después del trasplante (ddt). *Escala de severidad referida por (Murguido y Elisondo, 2007) para TYLCV, donde: (0) planta sin síntomas (1) plantas con síntomas de amarillamiento ligero en el margen de los folíolos de las hojas apicales (2) plantas con síntomas de amarillamiento y encrespamiento menor de los folíolos apicales (3) plantas con gran rango de síntomas de amarillamiento de las hojas, encrespamiento y achaparramiento con algunas reducciones de tamaño, pero la planta sigue creciendo (4) plantas con síntomas de amarillamiento severo, encrespamiento y retraso del crecimiento, encrespamiento y achaparramiento, se detiene el crecimiento de la planta.

Este comportamiento en las plantas son referidos en esta misma variedad de tomate ante la incidencia del gusano de la mazorca del maíz (*Helicoverpa zea* Boddie) con la aplicación de L1/30 (Arteaga, 2003) y la *Alternaria solani* Soraver con la aplicación de variantes ecológicas como el Biostan (Terry, 2004). Por su parte (Pupiro *et al.*, 2001), obtuvo disminución de las densidades poblacionales de plagas en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) con la aplicación de vermicompost. Otros autores (Portuondo, 2011; Calderín *et al.*, 2012), plantearon al aplicar diluciones de AH extraídos de vermicompost las plantas manifestaron un estado fisiológico superior posibilitado por un balance energético y hormonal más eficiente, que les permitiría contar con un mayor potencial adaptativo y de respuestas rápidas ante estas condiciones en relación a las no tratadas.

Esto puede fundamentar la menor incidencia del *Begomovirus* en las plantas tratadas con Liplant, cuyos porcentajes de estimulación alcanzados no se modificaron en relación a los valores obtenidos en los indicadores evaluados en los ciclos de cultivos anteriores, no ocurriendo así para el control.

Ejemplo de esto se reflejó a partir de los 45 días (15 días después de la primera aplicación foliar), en las dinámicas de crecimiento foliar y del tallo, en la primera llegaron a duplicarse los valores a partir de los 10 dds (Fig. 4.3). En la longitud y el diámetro del tallo se incrementaron significativamente ($p < 0,05$) los

tratamientos con Liplant entre un 58–110% y en un 19-20% en relación al control a partir de los 17dds (Fig. 4.8).



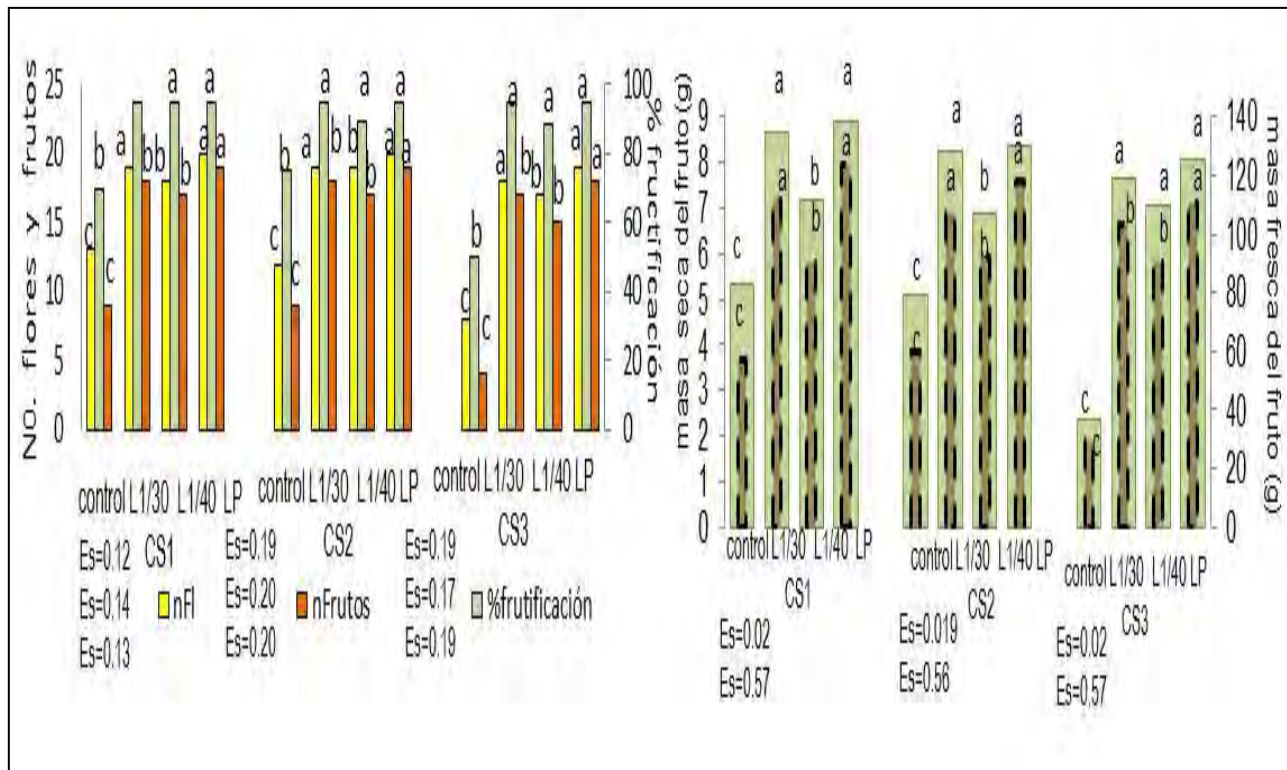
(Letras desiguales reflejan diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclo de cultivo (Tukey $p \leq 0.05$)

Figura 4.8. Dinámica de crecimiento de la longitud del tallo (LT) y del diámetro del tallo (DT).

Indicadores de producción agrícola del cultivo

Semejante patrón se presentó en los comportamientos de los tratamientos en la evaluación de los indicadores productivos del cultivo. El número de flores (nFI) en los dos primeros ciclos para los tratamientos con Liplant se encontraron incrementados entre un 30-65% en los ciclos uno y dos (Fig.4.9). Para el tercero en este indicador se duplicó su valor de la mima forma.

El aumento en la floración repercutió en el número de frutos por planta (nF), el cual se estimuló respecto al control entre un 67-69% para el L1/30 y el LP, en el L1/40 se encontraron entre un 43-46% en los dos primeros ciclos.



(Letras desiguales reflejan diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclo de cultivo, Tukey $p \leq 0.05$)
Figura 4.9. Valores medios de los indicadores productivos y de biomasa en los frutos por tratamiento y ciclo de cultivo.

Todos los tratamientos con Liplant lograron estimulaciones que triplicaron los valores alcanzados por el control en el tercer ciclo, lo cual verificó el efecto del producto sobre el incremento de la floración y determinó que el porcentaje de fructificación para estos tratamientos se incrementan entre un 58-61% en CS3 y para CS1 y CS2 entre 20-24% respecto al control, con menor incidencia para el L1/40, debido a que presentaron un mayor porcentaje de flores que cuajan en frutos, lo cual evidencia una influencia del producto en la floración, al incrementar el número de flores que cuajan en frutos y no fueron abortadas de acuerdo con el aumento en los porcentajes de fructificación.

Los valores de la masa fresca del fruto se incrementaron entre un 56-66.5% para el L1/30 y LP, el L1/40 se encontraron entre un 44-54% en relación al control en los dos primeros ciclos. En el tercero aumentó entre un 28-40% para L1/30 y LP y en un 21-45% con el L1/40.

Por su parte, la masa seca de los frutos en los tratamientos con Liplant se presentaron incrementados respecto al control entre un 62,5-77,4% para el L1/30 y el LP, en L1/40 aumentaron entre un 25,6-37,5%

(CS1 y CS2). En el ciclo CS3 se destacó que todos los tratamientos con Liplant duplicaron la producción de masa seca en relación al control (Fig.4.9).

Estos resultados sugirieron una relación fuente-sumidero favorecida para los tratamientos con Liplant respecto a este, se reitera un efecto del producto en la formación de biomasa y el transporte de nutriente de forma más eficiente con el mayor acumulo de biomasa obtenido durante el desarrollo de las plantas revertido en la etapa productiva.

Consecuentemente los rendimientos en los tratamientos con Liplant se mostraron incrementados, al duplicar el valor obtenido por el control en los dos primeros ciclos de cultivo y en el tercero llegaron a triplicarlo, pues en el control se presentó una disminución de su valor prácticamente en un 50%, influido por la incidencia del *Bergomovirus* (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Valores medios de los rendimientos (ton.ha⁻¹) y análisis económico de la producción (\$.ha⁻¹) (Letras desiguales reflejan diferencias significativas entre los tratamientos en cada ciclos de cultivos Tukey p≤0.05).

Tratamientos	CS ₁ ES = 0.16				CS ₂ ES = 0.12				CS ₃ ES = 0.14			
	Control	L1/30	L1/40	LP	Control	L1/30	L1/40	LP	Control	L1/30	L1/40	LP
Rendimiento (t.ha ⁻¹)	14.86c	45.81a	39.86b	47.63a	15.21c	46.94a	35.54b	48.13a	6.43c	44.64b	34.85b	46.75a
Valor de producción (\$.ha ⁻¹)	46827.87	150 601.5	136 426.5	162 141.8	47911.5	147 871.0	140 301.0	149 832.5	22440.6	137 466.0	125 068.0	154 575.75
Costo de producción (\$.ha ⁻¹)	743.05	2 095.15	1 761.05	2 019.56	1 719.14	3 087.10	2 753.25	2 741.76	1 496.31	2 877.15	2 543.05	2 963.15
Beneficio (\$.ha ⁻¹)	46084.82	148 506.35	134 665.5	160 122.2	46192.5	144 993.85	137 757.95	147 090.7	20994.3	134 378.9	122 525.0	151 612.6
Costo/peso	0.016	0.014	0.013	0.012	0.035	0.020	0.018	0.017	0.07	0.022	0.025	0.019

Esto se encuentra relacionado fundamentalmente por la mejor respuesta obtenida en las plantas tratadas con Liplant ante la incidencia del *Begomovirus* en relación al control, determinando en los porcentajes de las estimulaciones alcanzados en los valores del rendimiento, los cuales se mantuvieron prácticamente triplicados para las diluciones de L1/30 (44,64 t.ha⁻¹) y Lp (46,75 t.ha⁻¹) y duplicados con L1/40 (42,85 t.ha⁻¹), con relación al control (13,43 t.ha⁻¹). Los tratamientos L1/30 y LP presentaron un mayor efecto en la formación de biomasa de los frutos y por tanto repercutieron en los rendimientos.

Indicadores de calidad de los frutos

De forma semejante, la calidad externa del fruto se superó con la aplicación del Liplant, al encontrarse diferencias significativas ($p < 0,05$) en relación al control en los tres ciclos de cultivo evaluados.

Los tratamientos L1/30 y LP mostraron un mayor efecto, los cuales no se diferenciaron significativamente entre sí. Los valores medios del diámetro ecuatorial (DE) de los frutos se incrementaron entre un 41-54%, duplicándose los valores respecto al control en CS3 (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Valores medios de la calidad externa e interna del fruto en cada tratamiento y ciclos de cultivo

Tratamiento	SST	N	P	K	pH	Vitamina C (mg/100g F)	Acidez	Relación SST/Acidez	Firmeza (kg/Fuerza)	Diámetro
										Ecuatorial (cm)
		Kg. ha ⁻¹								
CS₁ Control	4.43 ±0.5b	1.81 ±0.10b	3.35 ±0.10c	32.84 ±0.01c	3.98 ±0.02a	16.94 ±1.20c	0.41 ±0.01a	10.80 ±1.30c	5.50 ±0.01c	6.31 ±1.18c
L1/30	5.39 ±0.2a	1.95 ±0.12a	4.92 ±0.14a	48.27 ±0.03a	3.99 ±0.02a	18.94 ±1.10a	0.37 ±0.01b	14.40 ±1.20a	7.44 ±0.01a	7.98 ±1.17a
L1/40	4.98 ±0.4a	1.92 ±0.11a	3.79 ±0.15b	37.94 ±0.02b	4.20 ±0.01a	17.44 ±1.19b	0.40 ±0.01a	12.45 ±1.20b	7.26 ±0.02b	7.46 ±1.17b
LP	5.96 ±0.2a	1.98 ±0.4a	5.01 ±0.13a	48.56 ±0.02a	4.10 ±0.02a	19.51 ±1.18a	0.36 ±0.01b	16.56 ±1.23b	8.3 ±0.01b	8.00 ±1.18a
Es	0.01	0.12	0.10	0.02	0.02	0.83	0.011	0.11	0.02	0.89
CS₂ Control	4.42 ±0.2a	1.78 ±0.11c	3.5 ±0.10c	29.92 ±0.01c	4.19 ±0.01a	18.19 ±1.30c	0.43 ±0.01a	10.28 ±1.30c	5.35 ±0.02c	4.52 ±1.26c
L1/30	5.44 ±0.2a	1.92 ±0.11a	4.95 ±0.11a	43.38 ±0.01a	4.20 ±0.01a	18.64 ±1.30a	0.37 ±0.01b	13.95 ±1.40a	6.90 ±0.02b	7.61 ±1.23a
L1/40	5.25 ±0.3a	1.86 ±0.12b	3.82 ±0.11b	34.11 ±0.02b	4.20 ±0.02a	19.28 ±1.40b	0.41 ±0.01a	12.80 ±1.40b	6.16 ±0.01c	6.96 ±1.25b
LP	5.98 ±0.2a	1.96 ±0.10a	4.98 ±0.11a	44.89 ±0.02a	4.15 ±0.01a	19.87 ±1.18a	0.38 ±0.01a	15.74 ±1.33b	7.61 ±0.02a	7.65 ±1.23a
Es	0.02	0.12	0.10	0.02	0.06	0.86	0.016	0.12	0.01	0.83
CS₃ Control	4.28 ±0.3c	1.69 ±0.13c	3.19 ±0.13d	26.60 ±0.02c	4.12 ±0.02a	17.20 ±1.30b	0.38 ±0.01a	11.53 ±1.20c	5.21 ±0.02c	3.22 ±1.36c
L1/30	5.20 ±0.4a	1.84 ±0.11b	4.56 ±0.13b	45.21 ±0.02a	4.14 ±0.01a	18.64 ±1.10a	0.35 ±0.02a	14.6 ±1.20a	6.77 ±0.02b	7.35 ±1.31a
L1/40	4.76 ±0.4b	1.79 ±0.11b	3.54 ±0.12c	38.10 ±0.01b	4.12 ±0.01a	18.92 ±1.10a	0.36 ±0.01a	13.22 ±1.30b	6.25 ±0.02c	6.14 ±1.32b
LP	5.86 ±0.2a	1.92 ±0.10a	5.10 ±0.11a	48.19 ±0.02a	4.13 ±0.01a	20.11 ±1.18a	0.33 ±0.01a	15.03 ±1.33b	7.93 ±0.02a	7.45 ±1.30a
Es	0.03	0.11	0.12	0.02	0.06	0.85	0.016	0.12	0.01	0.94

(Letras desiguales significan diferencias significativas entre tratamientos en cada ciclo de cultivo, Tukey, $p \leq 0.05$)

El mayor calibre del fruto alcanzado en más del 85-90% de los frutos tratados, fundamentalmente en de LP y L1/30, lo cual le permitirían integrar una categoría superior de calidad (primera), incrementando su valor comercial en el mercado (Diez y Nuez, 2008). Es necesario tener en cuenta que la dilución de L1/30 combinada (LP) o no (L1/30), logró un cuajado de los frutos a los 90 ddt entre 90-95 % en las plantas tratadas, alcanzaron una mayor homogeneidad en el tamaño y estado de madurez de los frutos respecto al control.

Se corresponde los valores obtenidos en los indicadores de calidad interna de los frutos evaluados (Tabla 4.2) para los tratamientos con el Liplant, fundamentalmente para LP y L1/30, concuerdan con lo establecido por la norma NC 77-15:91 para frutos con alta calidad. Estos resultados unidos a las estimaciones encontradas en los indicadores analizados, muestran el impacto positivo de la aplicación de Liplant al cultivo en la calidad de los frutos, lo que aumentaría su valor comercial, fundamentalmente para la dilución L1/30 y el tratamiento LP.

Las entrevistas realizadas a 900 personas de la población urbana del Consejo Popular Sur de San José de las Lajas (17.5% de la población fundamentalmente femenina mayores de 16 años), en los tres ciclos de cultivo evaluados, se pudo valorar la preferencia y aceptación de los consumidores entrevistados por los frutos tratados con Liplant.

Tratamiento	Color	Tamaño	Sabor	Consistencia
control	10	10	20	10
L1/30, LP	52,6	56,7	49,8	62,1
L1/40	37,5	33,3	30,2	27,9

Tabla 4.3. Porcentaje de la preferencia de los consumidores por los frutos por tratamiento para los tres ciclos de cultivo.

En ella se obtuvo del 90% al 98% de los entrevistados eligieran los frutos tratados con el Liplant, fundamentalmente LP y L1/30 y sólo del 2 al 4% de los frutos del cultivo no tratado (tabla 4.3). La selección de los frutos por los consumidores se presentó para los tratamientos con Liplant (LP y L1/30), determinado por el porcentaje de preferencia en los indicadores: consistencia (62,10%), tamaño (56,70%) y el color (52,6%), los que son gran relevancia a la hora de su selección para el consumo fresco del fruto (Pérez, 2005).

El contenido nutricional del fruto también se favoreció con el incremento en el contenido de vitamina C de acuerdo con los resultados discutidos anteriormente (Fig. 4.5), se puede corresponderse también con la acción equivalente a las auxinas por las sustancias húmicas y las presencia de ellas en el Liplant (Caro, 2004), sugerido por el crecimiento inducido acompañado de la producción y un alto consumo de carbohidratos reductores, fundamentalmente de glucosa, que al fosforilarse posiblemente se incorpore hacia otras vías metabólicas como la del ciclo del ácido glucurónico (Ramos,2000; Martínez, 2006).

Se corresponden además las referencias obtenidas con los estudios fisiológicos realizados con extractos de SH de vermicompostadas, AH extraídos del vermicompost y los obtenidos por Echenagusía (1999), al

estudiar los efectos fisiológicos similares con la aplicación del Biostan, sobre el cultivo *invitro* de plátano macho.

Este autor, informó que la glucosa al fosforilarse además de transportarse desde las hojas hacia otras partes de las plantas para su utilización, puede ser utilizada en el proceso respiratorio para la obtención de la energía necesaria, bajo la estimulación producida por la aplicación de Biostan, lo que puede corresponderse con su análogo Liplant y explicar los resultados alcanzados en esta investigación.

Similares efectos en el incremento del contenido de vitamina C en los frutos de tomate fueron encontrados por Ramos (2000), durante la aplicación de AH foliar en este cultivo; lo que relacionaron con las modificaciones encontradas en el contenido de carbohidratos reductores. Terry *et. al.* (2010) al aplicar Biostan a esta variedad de cultivo obtuvo incremento en la calidad nutricional del fruto.

Se correspondió el contenido de sólidos solubles totales (SST) que aumentó entre un 19-37% para los tratamientos con Liplant mostrando semejante patrón (Tabla 4.2). De manera similar la firmeza del fruto fue superior al control entre un 30-35% para L1/30 y LP, en L1/40 en un 15-29%. En el tercer ciclo las diferencias del L1/30 y LP con el control alcanzaron el 60%.

Se encontró correlación entre los incrementos de los valores de estos indicadores ($r=0.98$, $p<0.05$), esta condición favorece la mejor conservación de los frutos en los manejos en la etapa de poscosecha y la transportación para su comercialización (Velasco *et al.*, 2011).

Estos autores refirieron que el incremento de la relación SST /acidez denota la mejora de la calidad de la cosecha con valores de Brix adecuados ($\geq 4^{\circ}$), dentro del rango de 12 -18, condición que se cumple para los tratamientos con Liplant, más significativa para L1/30 y LP (Tabla 4.2), unido a la combinación de la disminución de la acidez sin provocar cambios en el pH, dentro del rango informado para el cultivo (0.4-0,6%) (FAO, 2004), lo cual determina en la mejora del sabor, de acuerdo con los resultados de la entrevista y en las pruebas gustativas realizadas por los consumidores.

Referente a esto, Nardi *et al.* (2009), informó que el tratamiento con dosis de bajas concentraciones de sustancias con alta actividad biológica en las primeras etapas del desarrollo de los cultivos, provocan cambios fisiológicos y metabólicos importantes que se revierten en una estimulación del crecimiento de las plantas y se reflejan en el incremento del rendimiento y la calidad de los frutos obtenidos.

Las correlaciones encontradas entre los indicadores de crecimiento: LT, AFE, LR, ms (aérea/R), Cla+b y los productivos evaluados: nFI, FP, mfF, msF, DE, FF con el rendimiento y la calidad a través de los sólidos solubles totales contenidos en los frutos (SST), evidenciaron la contribución de estas magnitudes a la formación de biomasa, al rendimiento y calidad del fruto (Tabla 4.4), los criterios anteriores ratificaron los

resultados analizados e indicaron que el efecto estimulante acontecido en las etapas iniciales del crecimiento del cultivo con la aplicación del Liplant en las diluciones evaluadas, señalan la utilidad potencial en la selección de dosis en etapas tempranas del cultivo para la predicción de su efecto productivo para trabajos futuros.

Estos efectos pueden ser resultados de una acción conjunta de los componentes del Liplant fundamentalmente hormonal de tipo giberélica, (GA3), unido la acción *Like-homone* de las SH de baja masa molecular y el contenido de aminoácidos, además la composición mineral formando complejos órgano-minerales Caro, 2004). Estos en su conjunto en su conjunto juegan un papel beneficioso en los procesos de floración y fructificación, formación de biomasa y en la calidad de los frutos en los cultivos tratados como el tomate, el Liplant en las dosis aplicadas, los cuales resultan comparable con los beneficios informados en la cantidad y calidad de los frutos para los bioactivadores comercializados (Ferrara y Brunetti, 2008; De Liñán, 2010; Trevisan *et al.*, 2010).

Tabla 4.4. Correlaciones entre indicadores biológicos evaluados, el rendimiento y la calidad a partir de los sólidos soluble totales de los frutos obtenidos en los ciclos de cultivos evaluados.

Indicadores	Rendimiento				SST			
	Control	L1/30	L1/40	LP	Control	L1/30	L1/40	LP
LT	0.81***	0.94***	0.96***	-----	0.73**	0.96**	0.98**	-----
AFE	0.90***	0.93***	0.98***	-----	0.45**	0.68**	0.61**	-----
LR	0.83***	0.97***	0.98***	-----	0.78***	0.91***	0.94***	-----
msA/msR	0.59***	0.96***	0.98***	-----	0.41***	0.93***	0.96***	-----
Cla+b	0.85***	0.95***	0.97***	-----	0.66***	0.96***	0.94***	-----
nFI	0.75***	0.91***	0.86***	0.96***	0.32ns	0.66*	0.56ns	0.63***
DP	-0.55ns	0.03ns	0.01ns	0.03ns	-0.08ns	0.14ns	0.09ns	0.11ns
DE	0.75***	0.88***	0.83***	0.95***	0.84***	0.99***	0.94***	0.98***
FP	0.89***	0.97***	0.94***	0.99***	0.89***	0.99***	0.96***	0.99***
MFf	0.88***	0.98***	0.95***	0.98***	0.94***	0.99***	0.95***	0.99***
MSf	0.93***	0.99***	0.97***	0.99***	0.80***	0.97***	0.94***	0.98***
FF	0.01ns	0.07ns	0.05ns	0.06ns	0.85***	0.99***	0.96***	0.98***

4.1.2. Análisis económico de la producción

El análisis de los datos económicos, revelaron con la aplicación de las diluciones de Liplant incrementos significativos en los ingresos monetarios de la producción de tomate por hectárea, que alcanzaron a reducir

el costo por peso invertido a pesar del aumento observado en el costo total de la producción para la aplicación del Liplant (Tabla 4.1).

Se logró además, una relación costo-beneficio inferior a la unidad en relación al control, lo que justificaría su introducción en la agricultura al propiciar incrementos en las utilidades por las ganancias obtenidas en pesos/ha. Estos análisis evidenciaron un mayor índice de rentabilidad respecto al control, en el orden LP> L1/30> L1/40> control y de un ciclo a otro entre un 9-13% (CS1), 16-32,4% (CS2), 53-66,6% (CS3).

La combinación de ambas diluciones (LP), reveló ser el tratamiento más rentable y el que aporta mayor eficiencia económica para la aplicación del Liplant al cultivo, pues logró incrementar las ganancias y disminuir la relación costo/peso invertido en un 14-15% con relación al L1/30, un 25-40% al L1/40 y un 63% respecto al control, fundamentalmente en el ciclo CS₃, donde ocurrió la incidencia del *Begomovirus*.

Estos resultados evidenciaron la potencialidad del Liplant en la dilución más baja (1/40 v:v), con lo que se logra un menor consumo de producto, como estimulante en las etapas tempranas en el semillero para la obtención de posturas con mayor calidad en un menor tiempo y costo de producción con el mayor aprovechamiento del área de cultivo y estar mejor preparadas para enfrentar las condiciones que acontecen en el agroecosistema en la etapa de crecimiento del cultivo que repercuten en los rendimientos productivos, al combinarse en la etapa de plantación con dos aplicaciones foliares con la dilución más concentrada (L1/30), con un intervalo de 15 días entre ellas, para ejercer su máxima expresión.

La condición más rentable y eficiente se verificó en la efectividad de la combinación de ambas diluciones a través del tratamiento LP.

4.2. Evaluación de propiedades físicas, físico-químicas del suelo en la finca de producción

La evaluación de las propiedades del suelo después de transcurridos los tres ciclos de cultivos estudiados, mostraron una variación significativa ($p < 0,05$) entre los valores iniciales (CS1) y la evaluación final del último ciclo (CS3), mientras que en el área donde se aplicó el Liplant al cultivo se superaron significativamente los resultados alcanzados respecto al control y el estado inicial del suelo (Tabla 4.3).

En todos los tratamientos se observó un potencial de recuperación de la materia orgánica del suelo (MOS) en comparación con el estado inicial, lo cual manifestó la efectividad del manejo de conservación del suelo aplicado (Cortegaza *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2012). En el control el %MOS se incrementó 15% en relación con el estado inicial del suelo. En el área donde se aplicó el Liplant al cultivo el %MOS aumentó en un 29% respecto al control, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con Liplant.

La calidad de la MOS, condición sugerida por el aumento de los valores en la relación %C (AH/CAF), se incrementó en un 5,4% para el control en relación con el estado inicial. Con la adición del Liplant el %C (AH/CAF) superó en un 5,7% al control y en un 11,43% al suelo inicial, lo cual repercutió en el aumento de las reservas de C en un 30% por encima del 31.4 % alcanzado por el control respecto con el estado inicial en los tres años de evaluación. Este efecto repercute directamente en las propiedades que inciden sobre la fertilidad del suelo (Canellas, 2005; Morales *et al.*, 2008), como en el % humedad, la CE, pH, ds, las cuales se conservaron y el contenido de P, Ca²⁺/Mg²⁺, K⁺, CCB, mostraron una tendencia al mejoramiento del suelo. Resultados que se corresponden con estudios realizados con adiciones de SH y de vermicompost donde se verificó un mayor secuestro del carbono en el suelo (Farías *et al.*, 2011; Hernández *et al.*, 2012).

Tabla 4.3. Resultados del análisis de las propiedades físicas – químicas del suelo de la Finca al inicio del ciclo CS₁ y final del CS₃ para el control y el suelo donde se aplicó el Liplant al cultivo.

Prof. 0–20 cm	% MOS	%C	%C (AH/AF)	pH (H ₂ O)	CCB cmol(+).kg ⁻¹	Ca ²⁺ /Mg ²⁺	CE Ds.cm ⁻¹	P ₂ O ₅ mg.kg ⁻¹	K ₂ O mg.kg ⁻¹	ds mg.cm ⁻¹	%Hum
Inicio CS ₁	3.03 ±0.2c	1.76c	0.35a	7.20 ±0.1a	19.8 ±2.10c	4.18 ±1.22b	1.78 ±0.01a	0.63 ±0.41b	0.54 ±0.01b	1.10 ±0.02a	25.35 ±0.05a
Final CS ₃ CONTROL	3.45 ±2.2b	2.00b	0.37a	7.17 ±0.1a	22.10 ±2.15b	4.45 ±1.25a	1.75 ±0.01a	0.70 ±1.251b	0.61 ±0.02b	1.10 ±0.01a	25.85 ±0.02a
Final CS ₃ LIPLANT	3.87 ±2.3a	2.25a	0.39a	7.18 ±0.1a	23.65 ±2.22a	4.97 ±1.27a	1.80 ±0.02a	0.75 ±1.22a	0.72 ±0.03a	1.09 ±0.03a	26.55 ±0.05a
Es	0.09	0.15	0.10	0.02	0.13	1.12	0.10	0.18	0.02	0.09	0.11

Medias con letras no comunes se diferencian los tratamientos significativamente (Tukey, p≤0.05)

La aplicación del Liplant mediante el procedimiento desarrollado en la finca propició una tendencia ventajosa a tener en cuenta para el manejo agroecológico del cultivo y de los suelos, pues no solo se amplió la producción del cultivo de tomate en un suelo FRL conservado, al cual se le refieren una disminución de los rendimientos en un 38% (Hernández *et al.*, 2011), propició además la conservación de su calidad con tendencia al mejoramiento.

4.3. Evaluación del efecto de la aplicación del Liplant en propiedades físicas, físico-químicas y biológicas del suelo y las aguas de lixiviación en el tiempo en experimentos de laboratorio

Los resultados alcanzados en el experimento de campo se apoyaron con los obtenidos a través de la realización de pruebas de aplicaciones de Liplant equivalentes a dos años en el laboratorio, sin

incorporación de nutrientes y la acción de un proceso de lixiviación condiciones que pueden conllevar a la degradación de los suelos en los ecosistemas con el paso del tiempo (Hernández *et al.*, 2011).

La dinámica de evaluación desarrollada a través de la realización de las pruebas de adición al suelo de Liplant (L1/10 y L1/20), equivalente a su aplicación durante dos años, demostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos con Liplant, fundamentalmente el de mayor concentración (L1/10) en relación al control, a partir de los 90 días en los indicadores evaluados en el suelo y las aguas de lixiviación.

4.3.1. Efecto del Liplant en poblaciones microbianas y propiedades físico-químicas del suelo

De manera general se encontraron disminuciones en el contenido de los elementos evaluados en los suelos, causados por la propia evolución del mismo con el transcurso del tiempo (Grosbellet *et al.*, 2011). Efecto manifestado de forma más intensa, al no recibir aportes de materiales orgánicos frescos durante el desarrollo del experimento *in vitro*.

Para el control las disminuciones fueron más significativas en comparación con los suelos que recibieron aplicación de las diluciones de Liplant, fundamentalmente para el L1/10, el cual mostró una tendencia hacia la menor modificación respecto al suelo inicial con el paso del tiempo (Fig. 4.10).

Dinámica de evaluación del carbono de la materia orgánica del suelo (MOS)

Los valores medios iniciales del porcentaje de carbono contenido en la MOS y de las fracciones de ácidos húmicos y en las fracciones húmicas (AH) y fúlvicas (AF) obtenidos se corresponden con los referidos por Quintero (2011) y Hernández *et al.*, (2012) para suelos con baja actividad antrópica FR y FRL respectivamente.

Los valores medios del %C(MO), %C(AH) y %C(AF) para cada tratamiento disminuyeron paulatinamente, de forma más significativa para un año, el control y las fracciones más lábiles de ácidos fúlvicos, con respecto al contenido inicial en el suelo a lo largo del experimento, lo cual es reflejado en la dinámica obtenida en el transcurso del tiempo (Fig. 4.10a). En esta se observa que las reducciones graduales en el porcentaje de carbono se presentaron a partir de las fracciones más lábiles, al ser estructuras menos complejas y de menor estabilidad, lo cual determina que sean más fácilmente degradables bajo la acción de la dinámica microbiana del suelo (Ortega, 1985; Garcés, 1987).

Para el control se encontraron las mayores pérdidas en un 34% con un año (1A) y 62% a los dos años (2A) (Fig. 4.10a). En el tratamiento con L1/10 se presentaron en un 27,5% (1A) y 44,2% (2A) respectivamente y en el L1/20 disminuyó en un 28,7% (1A) y 47% (2A). Como consecuencia de las disminuciones intensas de las fracciones AF y el mantenimiento de AH se obtuvo que la relación % C(AH)/C(AF) se incrementó hasta

valores no característicos, en comparación con el suelo inicial y a los valores (0,35-0,45) referidas para suelos FRL (Ortega, 1985).

Los resultados sugieren una desestabilización en el equilibrio de estas fracciones en el suelo, lo cual puede repercutir en las funciones de la MO en el mismo (Garcés, 1987), como en la captura del carbono, las propiedades buffer, la CCB y el contenido de microorganismos y su actividad, entre otras propiedades. Situación que se presenta en la mayoría de los suelos FRL bajo cultivo intensivo y manejo no adecuado, donde las pérdidas de las reservas de C ascienden a un 58%, que conllevan a la acidez y la disminución de la capacidad de cambio de bases (CCB) de los suelos FR (Frómeta, 1984) y FRL (Hernández *et al.*, 2012).

Estos efectos fueron menos significativos para los tratamientos con Liplant, específicamente en el L1/10, donde permanecieron más conservadas estas fracciones en el suelo, en comparación con el control. Este mostró un empobrecimiento con el paso del tiempo y por consiguiente el más afectado durante el proceso de lixiviación en la columna lisimétrica con el paso de las aguas (Fig. 4.10a).

Se evidenció un mayor efecto protector en la conservación y captura del carbono en las fracciones de la MOS, lo cual puede repercutir positivamente en el resto de las propiedades y por tanto en la capacidad productiva del suelo, de acuerdo con lo observado en el experimento de campo.

Indican diferencias en el comportamiento de los suelos bajo diferentes tratamientos ante alteraciones que ocurren en el equilibrio de formación y desarrollo del proceso de humificación en el suelo y sugieren una posible inhibición del mismo bajo las condiciones alcanzadas en el experimento *in vitro*, se manifestó una continuidad del proceso de descomposición presumiblemente, a partir de una mineralización secundaria de los materiales de mayor complejidad, en las fracciones de AH, al ocurrir una disminución tal de los fracciones menos complejas como las de AF, características que se revelaron claramente en el suelo control (Fig. 4.10a).

En los tratamientos con Liplant se presentó de forma menos significativa, lo que sugiere una incidencia del producto ante la situación presentada. La menor afectación en el contenido de %C MOS y las fracciones de AH y AF, en los tratamientos con dos años lo corrobora, fundamentalmente para los tratamientos de Liplant con la mayor cantidad aplicada (L1/10), el cual logró alcanzar con el tiempo transcurrido un estado donde el grado de descomposición disminuye con el incremento del proceso de condensación y polimerización, presumiblemente determinado por una mayor estabilidad cinética y mayor contenido entrópico del sistema adquiriendo el humus un estado de equilibrio más cercano al suelo inicial en comparación con el control, de

acuerdo con las referencias aportadas en los estudios cinético (Ortega, 1982) y termoquímico del humus suelo (Garcés *et al.*, 2009).

En correspondencia con los resultados obtenidos en el experimento de campo tienen un significado importante ya que se contaría con una alternativa que puede contribuir a la conservación del % carbono en la materia orgánica de los suelos en producción, como los suelos FRL que se les informan pérdidas en el contenido de Carbono de un 35% (conservados) y un 56% en cultivo intensivo (Hernández *et al.*, 2012).

Estos estudios sugieren que el efecto que se obtiene con las aplicaciones del Liplant pudiera tener sus bases en la calidad de la MO añadida, la heterogeneidad en su composición y por la procedencia del material añadido; y no por la cantidad que se añade del mismo; elementos que caracterizan la dinámica del proceso de humificación en los suelos.

La efectividad de estos materiales vermicimpostados ha sido referida (Steinberg *et al.*, 2008; Olivares y Canellas, 2010) pues presentan un nivel de estabilización biológica, sin presentar aún una estabilidad química, que le permite proporcionar al medio compuestos de MO humificada, no humificada y sustancias bioactivas de baja masa molar más asequibles a los microorganismos del suelo con respecto a un material fresco (Ruiz, 1999).

Evaluación espectroscópica de los ácidos húmicos de la materia orgánica del suelo (MOS)

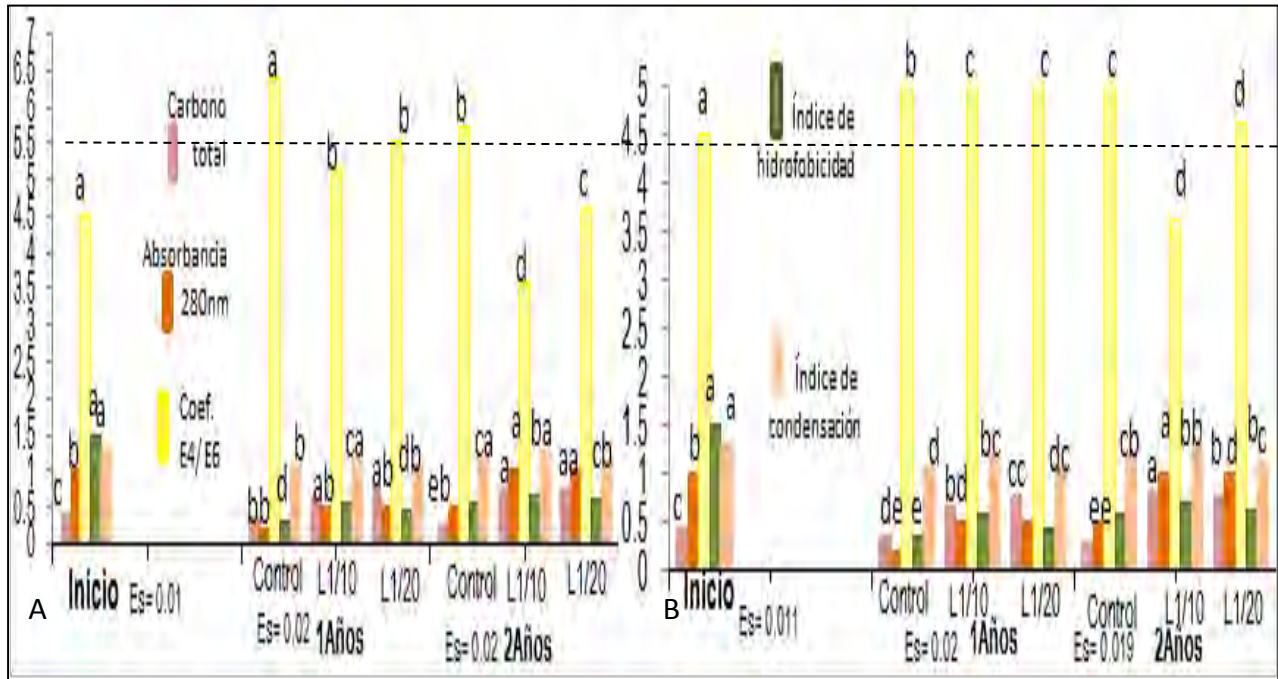
La información obtenida en los estudios espectroscópicos por UV visible y la FTIR realizados para los AH de cada tratamiento, fundamentaron los resultados alcanzados en cuanto a los diferentes comportamientos manifestados por los suelos con Liplant y el suelo control. La generalización de la información obtenida con estos estudios (Fig. 4.11a), fundamentó los resultados antes analizados (Fig. 4.10a).

En la literatura especializada (Canellas, 2005; Busato *et al.*, 2010) se refiere para la caracterización de las fracciones de sustancias húmicas (SH) de mayor complejidad y estabilidad se establecen relaciones entre los indicadores disminución del coeficiente óptico E4/E6 con el incremento de: el contenido de carbono, la absorción a 280nm, el contenido de grupos carboxílicos (COOH), los índices de hidrofobicidad (IH) y de condensación (IC).

Semejante patrón en esta relación se presentó para los ácidos húmicos (AH) de los tratamientos con Liplant, lo cual sugiere una tendencia hacia un estado cercano a las condiciones iniciales del suelo en comparación con el control a pesar de las existentes en el experimento *in vitro* (Fig. 4.10a).

Sin embargo, para los AH del suelo control esta relación se presentó de manera inversa a la mostrada por los tratamientos con Liplant, lo que indicó, según Freixo *et al.* (2002), un estado de menor complejidad de

las fracciones, donde están menos favorecidos los procesos de condensación, polimerización y de humificación. Estos resultados se relacionaron con los valores del porcentaje de carbono encontrados en la dinámica realizada en cada una de las fracciones de los tratamientos evaluados (Fig.4.10a).



Debido a la escasez de estudios equivalentes reflejados en la literatura, se compara los espectros obtenidos en cuanto a complejidad y la presencias de señales asignadas a los grupos funcionales, con los espectros obtenidos para AH de vermicompost (Ruiz, 1999; Canellas, 2005; Canellas *et al.*, 2008a), AH del Liplant (Caro, 2004) y del sólido residual derivado de la obtención del Liplant (Calderín, 2010).

Los espectros FTIR obtenidos (Fig. 4.12) muestran en general las características semejante a las de los ácidos húmicos en los suelos FR cubanos estabilizados biológica, química y físicamente reportados por (Garcés, 1987) y por Quintana (2011) para suelos FR con baja actividad antrópica (Anexo 7).

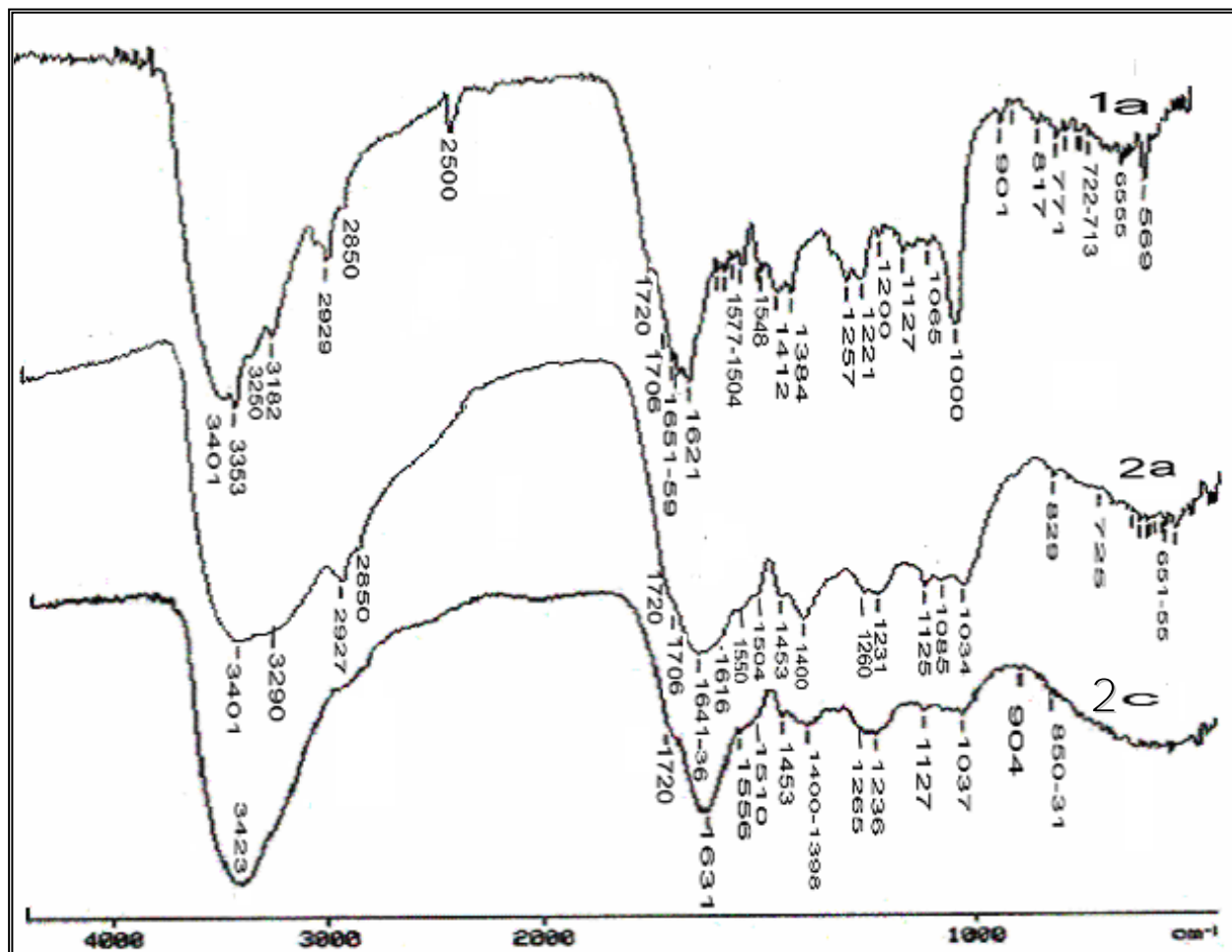


Figura 4.12. Espectros FTIR de los AH (0-20 cm) de los suelos de las macetas no lixiviados. 1a: tratamiento con Liplant con un año, 2a: Liplant con dos años, 2c: control con dos años

En los espectros FTIR de los AH de los suelos en estudio (Fig. 4.12), se presentaron bandas de adsorciones fuertes y evidentes entre los 3400 cm^{-1} , 2900 cm^{-1} , 1720 cm^{-1} , 1600 cm^{-1} , $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, $900\text{-}600\text{ cm}^{-1}$, características de espectros de AH, según lo reportado por Stevenson (1996).

Los espectros de los AH de los suelos con Liplant sugieren en la macromolécula estados intermedios para señales con grandes modificaciones al año de ser aplicado el producto, la mayor presencia y significación de bandas correspondientes a componentes fundamentalmente de naturaleza alifática y de poca complejidad fundamentalmente para un año y una disminución de estas para los dos años (Fig. 4.11).

Se presentaron con una mayor definición de los grupos funcionales en la zona de la “huella dactilar” de la macromolécula, especialmente entre $1000\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ y en $2850\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ estas señales permiten identificar los grupos funcionales moleculares con gran precisión (Caro, 2004).

Es de interés la marcada intensidad en las señales de bandas características habitualmente asignadas a compuestos alifáticos ($\text{CH}_2\text{-CH}_3$) sobre los 2929 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} , para suelos con Liplant con uno y dos años, se encuentran además, en la región del espectro entre $1088\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, asignadas a polisacáridos, informados para fracciones de ácidos fúlvicos (AF) en el Liplant por Caro (2004), lo cual revela un menor nivel de humificación en las estructuras presentes (Fig. 4.11).

Aparecen además señales intensas cercanas a 2500 cm^{-1} asignadas a estiramientos $\nu(\text{O-H})$ asociados a enlaces intramolecular con C=O , NO_2 y señales características correspondientes a grupos, estructuras aromáticas y alifáticas de aldehídos, hidrocarburos no saturados como alquenos, aminos, hidroxilos, carboxilos, carbonilos de alcoholes, cetonas, ésteres, alcoholes fenoles y/o quinonas, amidas y polisacáridos que pueden integrarse al proceso de humificación de la MOS. Esto manifestó la adición y presencia de nuevas estructuras menos complejas en la composición de los AH extraídos en comparación con el suelo control (Fig. 4.12; Tabla 4.4).

El espectro TFIR de los AH de los suelos con Liplant con un año, representó un estadio intermedio entre el suelo control y los dos años, con mayor conservación para los tratamientos con el Liplant y dos años. A partir de los dos años los coeficientes $E4/E6$ tienden a disminuir gradualmente, y aparecen definiciones de grupos funcionales producto de la posible condensación, de acuerdo con los valores de IC obtenidos (Fig.4.11a), sugirieron un empobrecimiento de las fracciones menos lábiles y por tanto el incremento del grado de humificación, efecto que se hace menos significativo en el orden: $L1/10 > L1/20 > \text{control}$, en este último se reitera su menor complejidad, incrementada con la lixiviación del suelo en las columnas (Fig.4.11).

Se destacan bandas a 3401 cm^{-1} asociadas a estiramientos de grupos OH pertenecientes a grupos hidroxilados (COOH y OH), que se corresponden con bandas en los 1720 cm^{-1} asignadas a grupos C=O de ácidos carboxílicos y en 1315 cm^{-1} de C-O de ácidos carboxílicos y de COOH a 1124 cm^{-1} . Las señales en $1641\text{-}1616$, 1580 , $1504\text{-}1453$, 829 , $725\text{-}650$, $551\text{-}550\text{ cm}^{-1}$ (C=N , C=C), algunas de ellas presentes también en L1A.

Estas absorciones moderadas y/o bandas intensas son correspondientes a núcleos aromáticos que pueden sugerir incrementos en la condensación de las macromoléculas húmicas con respecto al control para uno y dos años. Estas señales evidencian nuevamente la mayor complejidad de las estructuras en la macromolécula de los AH, más significativo para el L1/10 (tabla 4.6), de acuerdo con los IH y IC calculados (figura 4.11a).

A diferencia de los tratamientos con Liplant, los espectros para el control sugieren una pobre evolución de la MOS (Fig. 4.12, Tabla 4.4). En ellos se percibe la disminución de la intensidad en las señales correspondientes a grupos funcionales pertenecientes a ácido carboxílicos, fenoles, alcoholes, aldehídos, ésteres, aminas, amidas y fundamentalmente de estructuras alifáticas y de polisacáridos; e incluso la ausencia de estructuras poco complejas, de gran importancia para el proceso metabólico y en la nutrición de la plantas (Barriquello, 2005), las que pudieron ser transformadas por la acción de la microbiota, dada las condiciones del experimento *in vitro*.

El análisis y la comparación de los espectros FTIR reflejaron rasgos importantes que se modificaron en cada uno de los tratamientos con el paso del tiempo y el proceso de lixiviación del suelo. La variabilidad encontrada en la señales de los espectros entre los diferentes tratamientos corrobora los resultados anteriores, la interpretación de la información obtenida y comparación de cada uno, refleja que la MOS presente no presenta el mismo grado de evolución, por tanto complejidad y estabilidad, lo cual puede estar influenciado probablemente por el nivel de partida y las diferentes condiciones en que ocurre el proceso de humificación que determina las vías para su formación y estadios de polimerización en el orden que se incrementa el contenido de carbono (Fig. 4.10), desde los tratamientos con uno a los dos años y del control al L1/10; lo que puede explicar las diferencias encontradas entre cada uno de ellos (Fig. 4.12; Tabla 4.4).

Evaluación del pH, contenido de iones inorgánicos y CCB del suelo antes y después de la lixiviación

Los valores encontrados en estos indicadores se fundamentaron con los anteriormente expuestos (Fig. 4.10b). Para el pH disminuyeron gradualmente dentro del rango básico a ligeramente ácido, referido para los suelos FRL por Hernández *et al.* (2012), y son semejante al propio proceso evolutivo del suelo en las condiciones climáticas de Cuba.

Se presentó con variaciones significativas ($p < 0,05$), fundamentalmente a partir de los 360 días en el control, lo que pudo estar determinado por el menor efecto buffer que ejercer la MOS menos humificada. Las mejores condiciones de la MOS en los suelos tratados con Liplant fundamentada con los estudios espectroscópicos (Fig. 4.11) le permitió realizar funciones protectoras con mayor efectividad (Pertusatti y Prado, 2007; Quintana, 2011).

Este efecto pudo repercutir en la mayor retención de los cationes presente en los suelos, más significativos para los dos años y el tratamiento menos diluido de L1/10, donde se presentó una mayor estabilidad de la capacidad de cambio de bases (CCB) antes y después de la lixiviación del suelo (Fig. 4.10b).

Las correlaciones encontradas entre el incremento del contenido de Ca^{2+} con el %C(AH) y la CCB ($r=0.97$, $p < 0.05$), manifiestan la dependencia del secuestro de carbono, fundamentalmente en la fracción de AH, en las retención de los cationes Calcio y en la CCB del suelo (Canellas, 2005) .

Aunque las variaciones de los valores del pH obtenidos no sufrieron cambios bruscos, pues permanecieron entre la zona ligeramente básica, neutra a ligeramente ácida, estas disminuciones pudieran originar algunas modificaciones en las reacciones que ocurren en el suelo y ser a la vez, el resultado final de las transformaciones encontradas a partir de la afectación en la evolución de la MOS en cada uno de los tratamientos y en el medio favorable para el mejor desarrollo del proceso de humificación.

En este sentido, el contenido de fósforo obtenido en los suelos a través de la dinámica realizada (Fig. 4.10b), reflejó un patrón de comportamiento semejante al seguido en el carbono de la MOS, al disminuir gradualmente con el tiempo con mayor significación para el control.

Con respecto a estos resultados, diferentes autores (Malavolta, 2006; Santos y Camargo, 2008), informaron que el ciclaje intrasistema del fósforo (P) está condicionado al contenido de la MOS; pues la disponibilidad y la transformación de este elemento es uno de los principales factores que controlan la acumulación y la evolución de la MO en el suelo, lo que determina que el ciclo del P este estequiométricamente ligado al carbono (C) y su pool está regido por la relación entre ellos.

Esta disminución encontrada en el contenido de ambos elementos en los tratamientos en la dinámica de evaluación realizada, indica que los valores medios de la relación C/P también presenten semejante patrón, más significativo para el control, lo cual sugiere que el pool de P disminuya en función del fósforo lábil como consecuencia del posible tránsito a formas menos solubles, al formar fosfatos insolubles con Ca, Fe y Al del suelo haciéndolo más asequible a las plantas (Canellas *et al.*, 2004).

Este proceso puede ser favorecido por diferentes causas: (I) la disminución de los valores del pH encontrada esencialmente en el tratamiento control (II) en este tratamiento producto de una elevada degradación de las fracciones húmicas fundamentalmente de AF pueden ocurrir elevados aportes de P lábil al medio (Zalba *et al.*, 2002), lo cual unido a los procesos químico-físicos del medio, como los valores más bajos del pH, pudieran favorecer el equilibrio hacia formas menos solubles (Duchafor y Souchier, 1987).

Para el caso de los suelos con Liplant la mayor conservación de este elemento estaría además el efecto indirecto de la conservación de la MO humificada con una mayor calidad, que ejerce un efecto protector más eficaz sobre este nutriente del suelo, pues en la literatura se ha constatado la capacidad de las fracciones húmicas: (I) en poder inhibir las reacciones de retrogradación de fósforo soluble en los distintos

tipos de suelos (Canellas *et al.*, 2004). (II) convertir el fósforo no asimilable en asimilable, por la degradación bajo la acción de los microorganismos que provoca la liberación gradual de la biomasa, fundamentalmente por las fracciones de AF, realizando aportes de fósforo disponible (Zalba *et al.*, 2002) y aniones orgánicos que pueden competir con los fosfatos en la superficie de los minerales (Santos y Camargo, 2008). (III) poder ocupar sitios de fijación de los fosfatos por las sustancias húmicas y ser liberados (Malavolta, 2006). (IV) los ácidos orgánicos como el tartárico, componente activo en el proceso de quelación del Fe^{3+} , liberado del mismo modo que el H_2CO_3 formado por la evolución del CO_2 producido por la respiración microbiana en el medio edáfico del suelo, pueden también promover la solubilización del PO_4^{3-} (Obuger *et al.*, 2009). (VI) la adición de AH de vermicompost provoca incrementos en la relación AH/AF y en el P en la fracción lábil del suelo, con alteración de la participación y distribución de las formas orgánicas de P (Busato *et al.*, 2010). (VII) la capacidad de las sustancias húmicas de acomplejarlo, formando complejos fosfo-húmicos, que facilitaría su disponibilidad para las plantas y los microorganismos (Zancani *et al.*, 2009).

No debe descartarse la probabilidad del efecto directo del Liplant a partir de los contenidos de P en forma de PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} presente en el Liplant (Anexos 1), debido a su proceso de extracción y obtención (Caro, 2004), además de poderse encontrar en forma de complejo al poseer componentes húmicos y minerales (Garcés *et al.*, 2006), con lo cual estaría íntimamente ligado a las estructuras orgánicas de las sustancias húmicas y no húmicas que contiene el producto, de esta forma está protegido en gran parte su fijación con metales e incluso con la matriz de la fase sólida sea o no coloidal, lo cual permitiría que permanezca como P asimilable y realizar posibles aportes paulatinos del mismo (Caro, 2004), lo cual incide en que no decrezca tan significativamente en estos suelos, como en el caso del control. Estos antecedentes pueden fundamentar las variaciones ocurridas en los contenidos de P en condiciones de campo y de laboratorio.

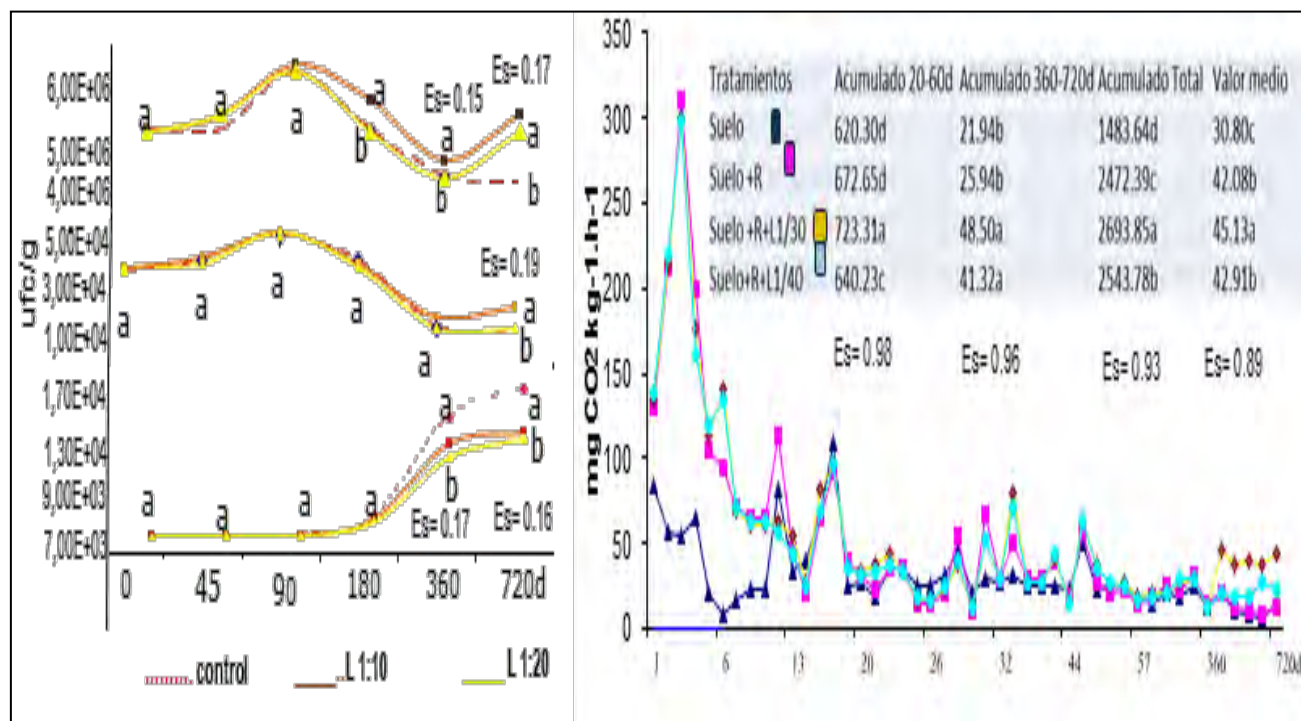
Se reitera una vez más el efecto protector que puede ejercer la MOS, específicamente la fracción de AH considerada como indicador de la calidad de los suelos, en los tratamientos con Liplant demostró ser más eficiente al presentar un mayor grado de humificación y de estabilidad en comparación con al control, aspecto que se manifestó a los dos años donde se obtiene una retención superior de estos cationes en el suelo y menor salida con las aguas lixiviadas (Fig. 4.10c), se presenta más significativo para el tratamiento menos diluido de L1/10.

Cuantificación de microorganismos del suelo en el tiempo

Los valores iniciales alcanzados en los conteos para las bacterias (Fig.4.13a) y los actinomicetos (Fig. 4.13c), se presentaron en correspondencia con los rangos referidos para suelos FR Lixiviados que se

encontraron bajo vegetación natural en los últimos años (Morell *et al.*, 2008). En cambio, para los hongos (Fig.4.13b), fueron inferiores que los aportados por este autor, diferencias que son atribuidas a la variabilidad en el reparto de las poblaciones microbianas, debido a las innumerables fluctuaciones ocurridas en las condiciones ecológicas de cada región, reguladas por el paso del tiempo, fundamentalmente para los hongos (Novo, 2009).

Los resultados alcanzados en las dinámicas de los conteos de bacterias y hongos se relacionaron con los datos anteriores, los cuales mostraron disminuciones en estas poblaciones a través del tiempo para todos los tratamientos, fundamentalmente a partir de los 90 días con respecto al contenido inicial en el suelo (Fig. 4.7a). Se presentaron disminuciones con diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos con Liplant, fundamentalmente el L1/10 con el control, relacionado con la disminución del contenido de carbono a partir de este momento en la dinámica a través del tiempo (Fig.4.5a).



(Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 4.13. Dinámica del conteo (a) 1. Bacteria, 2 Hongos y 3 Actinomicetos y la actividad respiratoria (b) de los microorganismos del suelo por tratamiento.

Quando la descomposición del material aportado avanza y el carbono como fuente energética se hace menor, los microorganismos, fundamentalmente los hongos también disminuyen en número, efecto semejante al ocurrido a partir de los 90d durante la dinámica desarrollada en el experimento de campo (Fig. 4.13a). Éstos no pueden competir con las bacterias para acceder a otras fuentes de energía y

carbono más complejas, lo cual puede fundamentar variaciones menos significativamente en sus conteos de estos en el tiempo con relación a los hongos (Fig.4.13a). Esta mayor adaptación a las condiciones del medio por parte de las bacterias con respecto a los hongos fue referida por Cortegaza et al. (2008), para suelos FR con diferentes manejos.

La escasez de MO es un factor limitante para el buen mantenimiento de los microorganismos heterótrofos, fundamentalmente para los hongos del suelo, considerados organismos degradadores y activos competidores en el consumo de sustratos de fácil descomposición, que crecen y llevan a cabo su metabolismo activo cuando las condiciones le son favorables de humedad, temperatura, aireación, pH ligeramente ácidos y concentraciones relativamente altas de nutrientes (Grinhut et al., 2007). Teniendo en cuenta lo informado por Madigan *et al.* (2003), las modificaciones en los valores de pH aunque tienden hacia la acidez no deben ser favorables para el desarrollo de hongos acidófilos que puedan nutrirse de estructuras más complejas (lignina), e incrementar su actividad biológica, para mantenerse el nivel poblacional de los hongos en el suelo.

Con respecto a esto, se debe tener en cuenta que excepto la adición de MO fresca, el resto de los factores no deben ser causantes fundamentales de estas disminuciones de las poblaciones de microorganismos, pues no existieron variaciones bajo las condiciones semicontroladas en que se desarrolló el experimento. Incluyendo al pH donde para todos los tratamientos sus valores oscilaron dentro de las características neutras a ligeramente básicas y ácidas, favorables para el buen mantenimiento de las poblaciones evaluadas (Madigan *et al.*, 2003).

Sin embargo, el número de actinomicetos se incrementó para todos los tratamientos a partir de los 180d (Fig.4.13), lo cual está determinado por la mayor estabilidad de este grupo más resistente, pues proliferan cuando la MOS ha entrado en estadios avanzados de descomposición (Jucumara *et al.*, 2011). Esta característica comienza a prevalecer a partir de los 180d fundamentalmente para el control, el cual se diferenció significativamente ($p < 0,05$) respecto a los tratamientos con Liplant. Estos resultados se corresponden con la sucesión de microorganismos que ocurre durante la descomposición de los residuos vegetales frescos que llegan al suelo (Ortega, 1982).

4.3.2. Efecto del Liplant en la actividad respiratoria de microorganismos del suelo en el tiempo

El valor medio de la evolución de CO₂ obtenido en la respiración basal del suelo es inferior a los referidos por Hernández *et al.*, (2012) para suelo FRL conservados (0-20 cm). Las modificaciones obtenidas en los contenidos de microorganismos a partir de los 180d determinaron las ocurridas en su actividad respiratoria (Fig.4.13b). Los tratamientos con Liplant se diferenciaron significativamente ($p < 0,05$) en relación al control,

fundamentalmente para L1/10, donde se manifestó el mayor mantenimiento en la actividad respiratoria de los microorganismos en el suelo con respecto a los controles con y sin residuos.

En ella se puede observar que en los tratamientos a los que se les adicionó residuos vegetales, con o sin el producto, se verificaron máximos de cantidades de CO₂ obtenido, registrados durante las tres primeras semanas, con incrementos en más de seis veces respecto a la respiración basal (control), con una diferencia de aproximadamente 23 mg de CO₂ kg⁻¹.h⁻¹ entre éstos, registrado en la literatura como efecto "priming", conducta similar a la que ocurre en la naturaleza al incorporarse residuos orgánicos al suelo, los cuales brindan los nutrientes para el desarrollo de la actividad respiratoria los microorganismos del suelo (Mayea *et al.*, 1991).

Los valores medios de los acumulados parciales aportados por los tratamientos con Liplant en la etapa final con uno a dos años, al compararse con los valores de la media general aportada por estos durante toda la evaluación de la dinámica respiratoria, no se diferenciaron significativamente ($p < 0.05$); siendo superiores a los controles con y sin residuos, en este último disminuyó doblemente.

El acumulado obtenido por el control sugiere una etapa final con un medio biológicamente poco activo por el escaso desarrollo de los microorganismos encontrado en estos momentos (Fig.4.13ab). Bajo estas condiciones de acuerdo con lo referido por Ortega (1982), el tipo de humus que prevalece no debe tener como característica fundamental la formación de complejos, sino que se puede presentar como mezclas incompletas de menor complejidad, en correspondencia con la caracterización espectroscópica de los AH obtenida para este suelo (Fig. 4.11).

Se evidenció bajo las condiciones *in vitro* realizadas, sin adiciones de residuos orgánicos a los suelos, que los tratados con Liplant principalmente el L1/10, mostraron respuestas más favorables con relación al control, esencialmente a partir de la mejor conservación de la calidad de las fracciones humificadas, lo cual tiene una repercusión trascendental en la preservación de las propiedades del suelo, semejante a lo ocurrido en el experimento de campo. Apoyaron estos resultados el incremento del % C (MOS) alcanzado con adiciones de materiales compostados al suelo a largo plazo (Canellas, 2005; Costa *et al.*, 2011).

4.4. Evaluación de efecto del Liplant en propiedades físico- químicas del suelo y las aguas lixiviadas

Los estudios realizados con las columnas lisimétricas con suelos con uno y dos años de cada tratamiento (experimento 4), corroboraron consecuentemente los resultados y análisis anteriores, los que mostraron diferentes comportamientos ante este proceso ocurrido en los suelos. Esto puede ser explicado a partir de

los diferentes niveles de humificación presentes en cada uno de los tratamientos de suelo evaluados con diferentes estadios de evolución y calidad de la MO humificada.

Al producirse el proceso de lixiviación cada una de las fracciones del material orgánico presente en ellos sufren la fragmentación física de las moléculas con el paso del agua por el suelo a fracciones menos complejas con diversas masas moleculares (M), obteniéndose fracciones con diferentes afinidades por los materiales del suelo.

Esto puede ser causado por las captaciones selectivas que ocurren, donde las fracciones de mayor complejidad y características hidrofóbicas manifiestan alta afinidad por la fase sólida de los suelos y los fragmentos ácidos de menor masa M, con características hidrofílicas con alta afinidad por la solución del suelo, los cuales lavan proporciones altas de C-COOH, taninos, flavonoides, carbohidratos oxidados con grupos de ácidos carboxílicos de baja M, de acuerdo con lo referido por la literatura especializada en estudios con MO de diferentes orígenes compostadas o no, en estudios con columnas lisimétricas de suelo, (Guo y Chorover, 2003, 2005; Cleveland *et al.*, 2004; Kalbitz *et al.*, 2009).

En relación con esto, al ocurrir el proceso de lixiviación en los suelos de cada uno de los tratamientos que presentan una MO con diferentes grados de complejidad y estabilidad, generaron diferentes fracciones, con M, propiedades y por tanto comportamientos. Las fracciones de SH presentes en los suelos (Fig. 4.11) más evolucionados y con un grado superior de humificación (tratamientos con dos años y tratamiento con L1/10), específicamente para los AH que presentan los mayores coeficientes de hidrofobicidad y condensación y por tanto carácter hidrofóbico de sus fracciones (fig. 4.11), lo cual indica que presentan mayor afinidad por la fase sólida del suelo ejerciendo un efecto protector más efectivo, al actuar como soporte de los componentes del suelo, de su estructura y por tanto de la conservación de las propiedades del mismo, ante grandes eventos de lluvias que pueden ocurrir en los ecosistemas.

Esta MO humificada presente en los suelos con Liplant con un mayor contenido de moléculas hidrofóbicas (incrementos -COOH y grupos oxigenados, aumento de contenido de compuestos con anillos bencénicos) y capacidad de oxidación de los AH (Fig. 4.11; Tabla 4.4).

Los cuales son grupos que repercuten en la estabilización de los radicales libres semiquinonas, en su reactividad y en la calidad del humus, presentan estas fracciones con una alta actividad biológica sobre las plantas al actuar a través de posibles mecanismos: (I) participar en los proceso de transferencia de electrones, debido a la presencia de grupos quinónicos libres (II) al tener mayor capacidad de retener los cationes por la acomplejación de los mismos, facilitando la toma de estos nutrientes por las plantas (Nardi *et al.*, 2007).

Estas acciones pueden ser también responsables de los resultados alcanzados en el cultivo de tomate con las aplicaciones de diluciones de Liplant en el experimento de campo. Sin descartar las fracciones de menor M, fúlvicas con características hidrofílicas que pueden tener también un efecto sobre la estimulación de la planta en su crecimiento, determinados por sus efectos metabólicos fundamentalmente sobre los procesos de respiración y fotosíntesis (Heil, 2010).

Sin embargo, para el control que presenta una materia menos humificada (mayores relaciones E4/E6), menos condensada (menores valores de índice de condensación) y con mayor carácter hidrofílico (menor índice de hidrofobicidad); con fracciones que presentan mayor afinidad por la solución del suelo, pueden migrar con más facilidad con las aguas de lixiviación, empobreciéndose más aun este suelo lixiviado (figura 4.10 y 4.11b)

Evaluación espectroscópica del suelo lixiviado

En los análisis de los espectros TFIR de los suelos lixiviados con Liplant con un año muestran (Fig. 4.14) que estos continúan representando un estadio intermedio entre el suelo control y los dos años, con mayor conservación para los tratamientos con el Liplant y dos años.

Las relaciones establecidas entre el C total, coeficiente E4/E6, los índices de hidrofobicidad y condensación, sugirieron un nivel de empobrecimiento del suelo superior en las fracciones más lábiles producto del proceso de lixiviación ocurrido en esta MO menos estabilizadas (Fig. 4.11b). Se reiteró la mayor complejidad y grado de humificación para los tratamientos con dos años y con Liplant.

Los espectros FTIR de los suelos lixiviados mostraron menor complejidad (Fig. 4.14), es decir las señales de los grupos funcionales disminuyeron al estructurarse la MO más compactante, reveló las pérdidas de estructuras más sencillas, evidenciado a partir de las variaciones encontradas en las señales asignadas a grupos funcionales como los pertenecientes a ácido carboxílicos, fenoles, alcoholes, aldehídos, ésteres, aminas, amidas, y fundamentalmente en grupos de sistemas alifáticos y de polisacáridos (Tabla 4.5), los cuales tienen una significación química en las propiedades y funciones.

Se destacó este hecho, en el espectro del suelo control lixiviado, donde ocurrió la desaparición y disminución de la intensidad de señales asociadas a grupos funcionales en estructuras de grupos aminos ($3250 - 3290 \text{ cm}^{-1}$) en ellas las estructuras moleculares se transforman presumiblemente por formación de estructuras de enlaces internos con grupos aminos, los cuales son semejantes a las presentes en el espectro del Liplant (Anexo 7). En estructuras alifáticas ($2859, 1498.05, 2927-2850 \text{ cm}^{-1}$), de aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos (1720 cm^{-1}), polisacáridos ($1300-1000, 1076-1081 \text{ cm}^{-1}$), alcoholes ($1200-1000 \text{ cm}^{-1}$), ésteres saturados (1125 cm^{-1}).

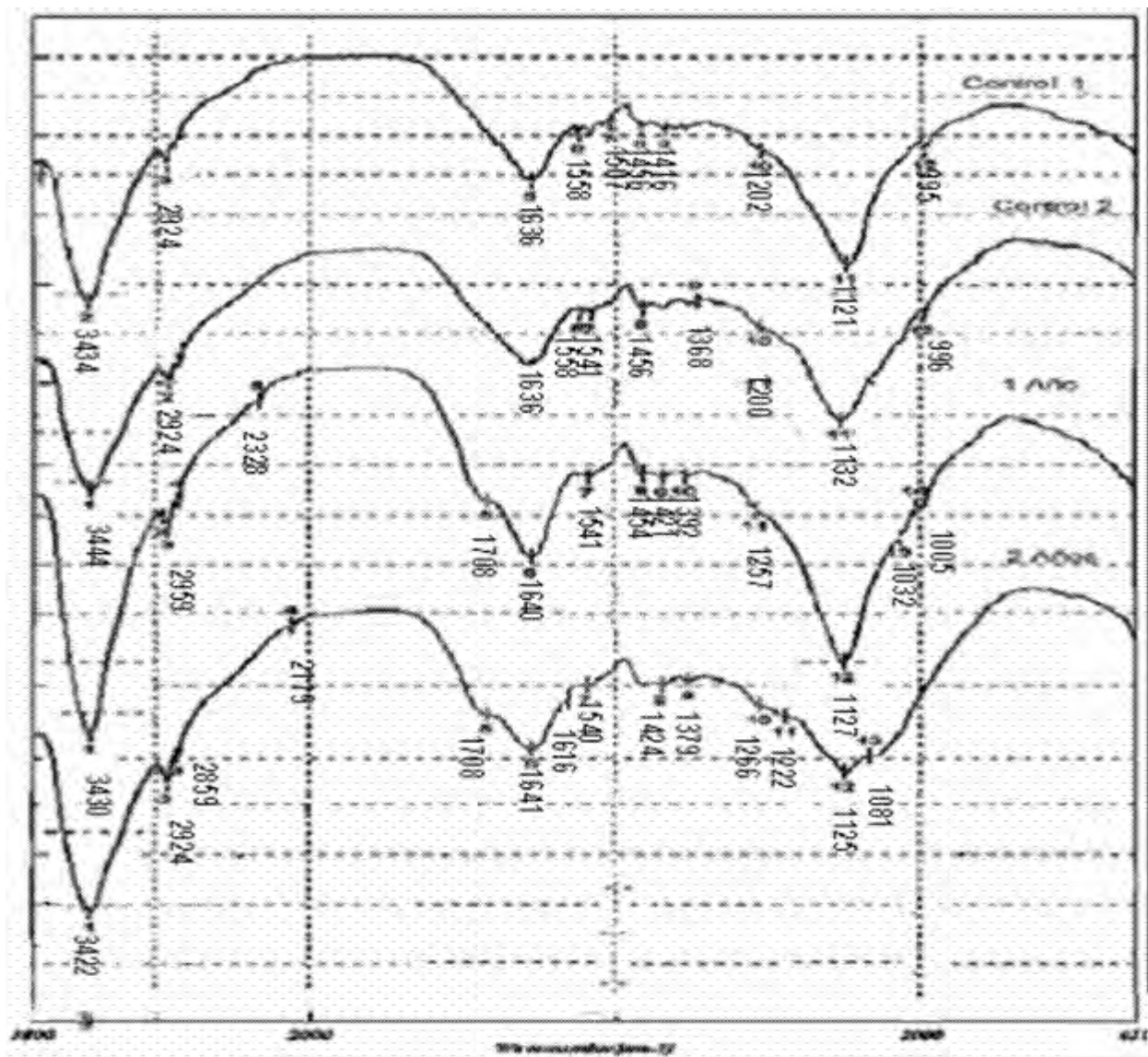


Figura 4.14. Espectros FTIR de los AH (0-20 cm) de los suelos lixiviados con uno y dos años para L1/10.

De forma general se encontró en los espectros fundamentalmente para los tratamientos con un año para el Liplant (L1A), transformaciones importantes con respecto al control de igual momento. En ellos aparecieron bandas más definidas, las que pueden corresponderse con el efecto de la incorporación de estructuras moleculares, las cuales al ser más sencillas y menos estables que las presentes en el suelo, ocasionan cambios en los AH que se extraen, lo cual se manifestó en una mayor definición del espectro (Fig. 4.14).

Estas transformaciones lograrían favorecer las interacciones físico-químicas con los metales (Barriuello, 2005), aspecto que se corrobora con las modificaciones obtenidas en las señales entre los 1636-1641 cm^{-1} surge más definida para los dos años (1641 cm^{-1}) y más cercanas a las obtenidas en el espectro del Liplant (1640 cm^{-1}), se corresponden a uniones $-\text{COOM}$, lo cual pudiera explicar la retención de metales

encontrada en los suelos estudiados a pesar del proceso de lixiviación, a partir de la formación complejo húmico-metal que favorecen su mayor retención y la asimilación de los nutrientes, conforme con lo analizado anteriormente y en el experimento de campo.

Se fundamentaron los diferentes grados de lavado ocurridos en cada uno de los tratamientos con el paso del agua de lixiviación a través del suelo de la columna (Fig. 4.10). En los suelo con Liplant más conservados, fundamentalmente con L1/10, después de ocurrida la lixiviación del mismo, las disminuciones del contenido de C son menos intensas con respecto al suelo control (Tabla 4.6).

En ella se puede apreciar como para el control, fundamentalmente con un año el %CMO y %CAH, el porcentaje de lavado de duplicó respecto a los tratamientos con Liplant, lo que verificó su empobrecimiento, pues estos últimos durante la dinámica ocurrida durante dos años y el proceso de lixiviación de los mismos mantuvo la calidad del material humificado, sugerido por las relaciones CAH/CAF (tabla 4.6) se mantuvo en la etapa final (1-2 años) en 0.63 y 0.61, en el L1/10 y de 0.51 y 0.50 el L1/20 respecto al control que presentó 0.09 (1A) y 0.13 (2A).

De manera semejante a los resultados de los estudios FTIR del suelo antes de la lixiviación (tabla 4.4) los espectro UV visible sugirieron que en las SH (figura 4.15), fundamentalmente en los AH que componen el suelo tratado con el Liplant ocurrió una menor pérdida de componentes que presentan grupos que contienen: C=C, C=O, N=N, C-OH, C-NH₂, -OH y -COOH, los que son responsables de estas señales, sobre todo para el tratamiento con dos años, de acuerdo a lo referido en la literatura especializada (Kononova, 1986; Garcés, 1987; Stevenson, 1996, Stevens *et al.*, 2008).

Los espectros de las fracciones fúlvicas de los suelos lixiviados (Fig. 4.15b) mostraron un comportamiento semejante a las fracciones de AH entre los tratamientos, pero con valores máximos de absorción menores con respecto a éstas y al horizonte inicial. Esto puede ser explicado debido a la menor complejidad molecular de las fracciones fúlvicas y a sus posibles salidas durante el proceso de lixiviación, las cuales al ser más sencillas, tienen mayor capacidad de transportarse junto con el agua de lixiviación (Guo *et al.*, 2003; 2005).

Las transformaciones encontradas entre los suelos tratados con Liplant y el control establecieron diferencias en el efecto que puede realizar el paso de las aguas de lixiviación por las columnas lisimétricas de suelo.

El volumen medio colectado del agua total aplicada en el control fue de un 69,9%, para el L1/10 de 50% y de 60,3% para L1/20. A los dos años, se recogió un 55%, 37% y 43% de cada uno; lo que sugiere una

mayor retención de las aguas en los suelos tratados con Liplant, fundamentalmente para la mayor dosis aplicada.

Efecto que se relaciona con la capacidad hidrofílica de las SH de la MOS presente (Kononova, 1986; Guo *et al.*, 2003) la cual se presentó más favorecida en los tratamientos con Liplant en los estudios espectroscópicos realizados (Fig.4.11b).

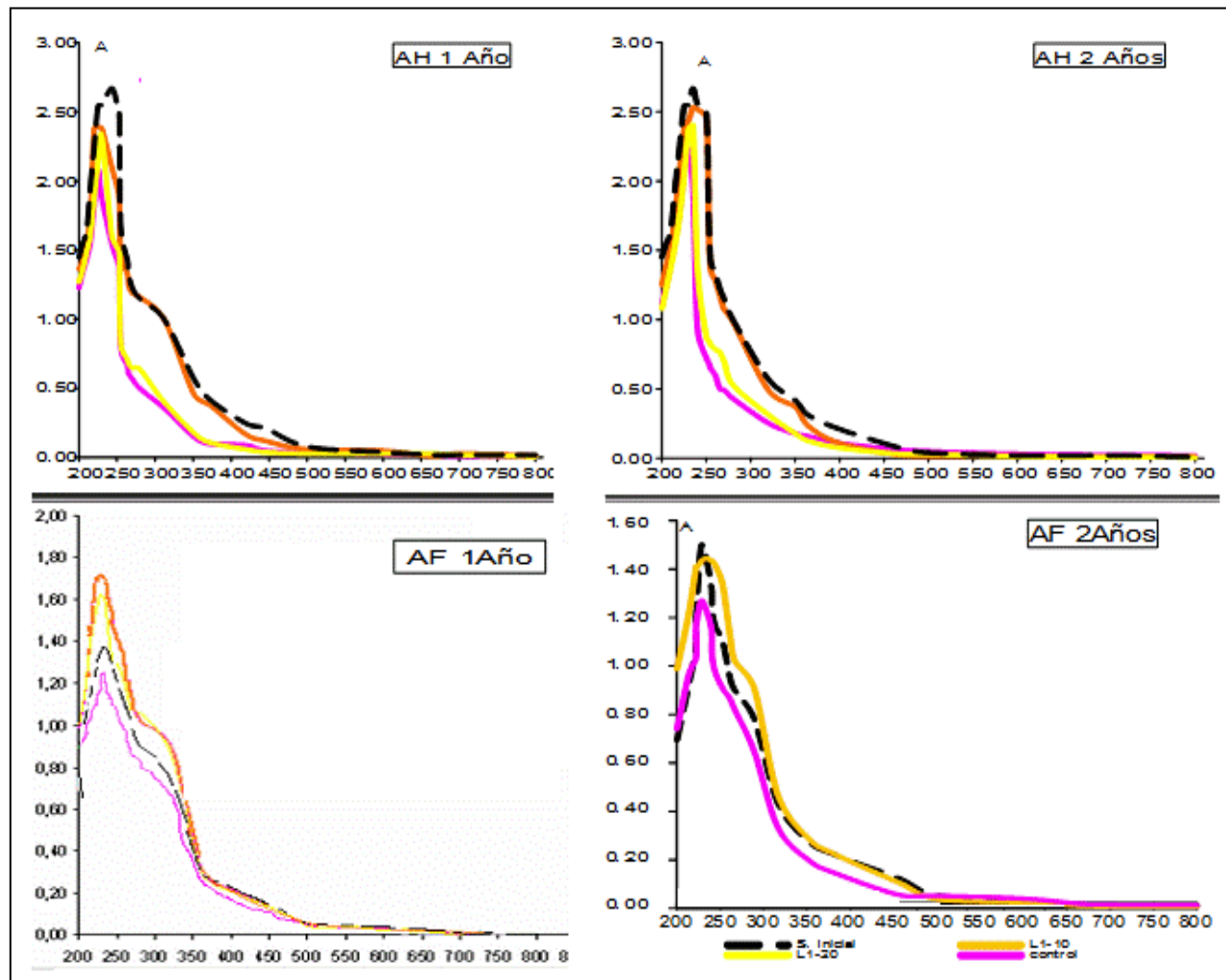


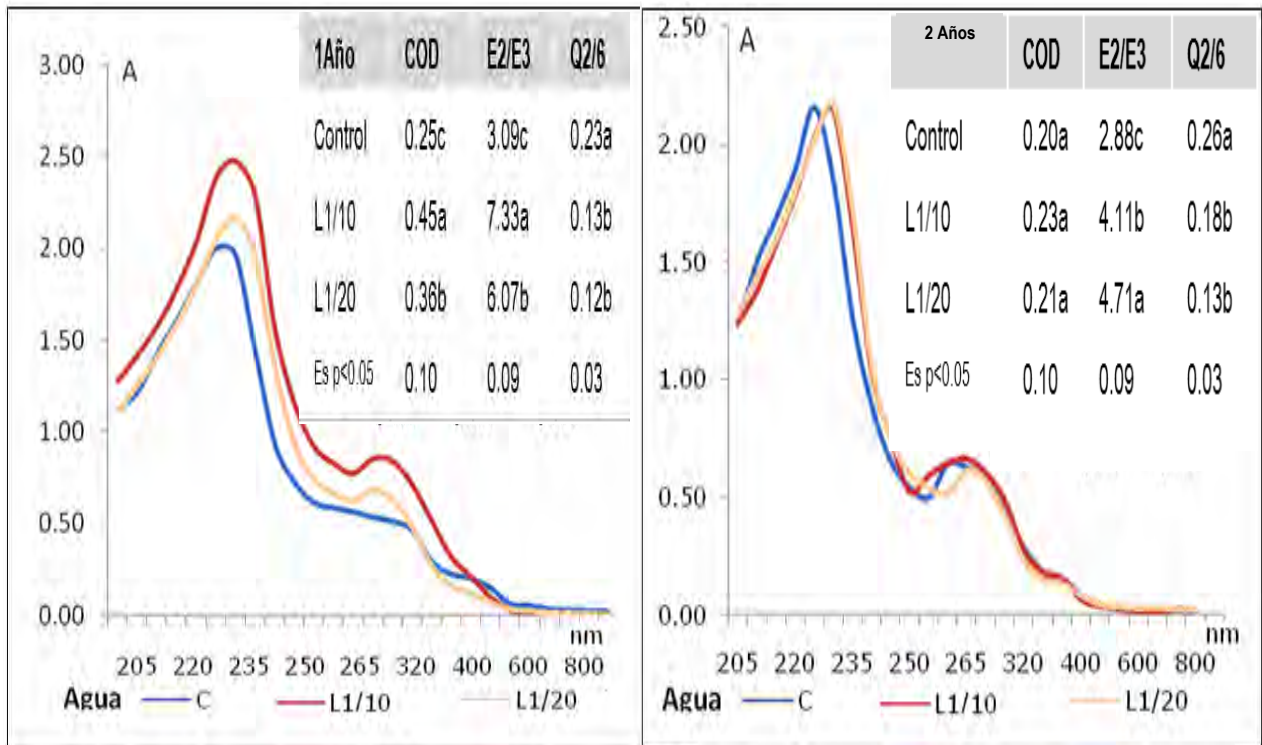
Figura 4.15. Espectros UV isi de los AH y AF de los suelos lixiviados con uno y dos años para L1/10.

Estos resultados se corresponden con la mayor retención de la humedad con el incremento de la MOS en los tratamientos con Liplant en el experimento de campo (Barantini *et al.*, 2006). Esto trajo como resultado diferencias en los contenidos de los lixiviados.

Evaluación de la materia orgánica disuelta (MOD) en las aguas de lixiviación

Las modificaciones encontradas en la composición de los AH y AF de los suelos tratados con el Liplant con respecto al control determinaron cambios en la dinámica de salida de los compuestos lixiviados, de

acuerdo con las referencias aportadas (Guo y Chorover, 2003, 2005) en estudios de MOD de materiales naturales en columnas lisimétricas de suelo (Fig. 4.16).



(Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 4.16. Análisis de los Espectros UV para los AH y COD en las aguas de lixiviación de los suelos.

Los espectros de absorción UV Vis de los AH solubles en álcali obtenidos, reflejaron estos hechos. Entre los valores de la absorbancia a 280 nm y las relaciones de E_2/E_3 se establecieron correlaciones para los muestreos de un año ($r = -0.98$, $p < 0.05$) y dos años ($r = -0.80$, $p < 0.05$), los que mostraron un patrón característico en los lixiviados durante el transporte de la MOD proveniente de materiales compostados adicionados al suelo en estudios con columnas lisimétricas, reportados en la literatura especializada antes citada y en los realizados por Artingera *et al.* (2000), durante el estudio de SH disueltas en las aguas lixiviadas de suelo.

Los valores máximos de absorbancia se obtienen entre los 225-240 nm, con mayor intensidad en el orden: $L2A > L1A > C$, señales de absorción asignadas a estructuras aromáticas en las aguas (Artingera *et al.*, 2000).

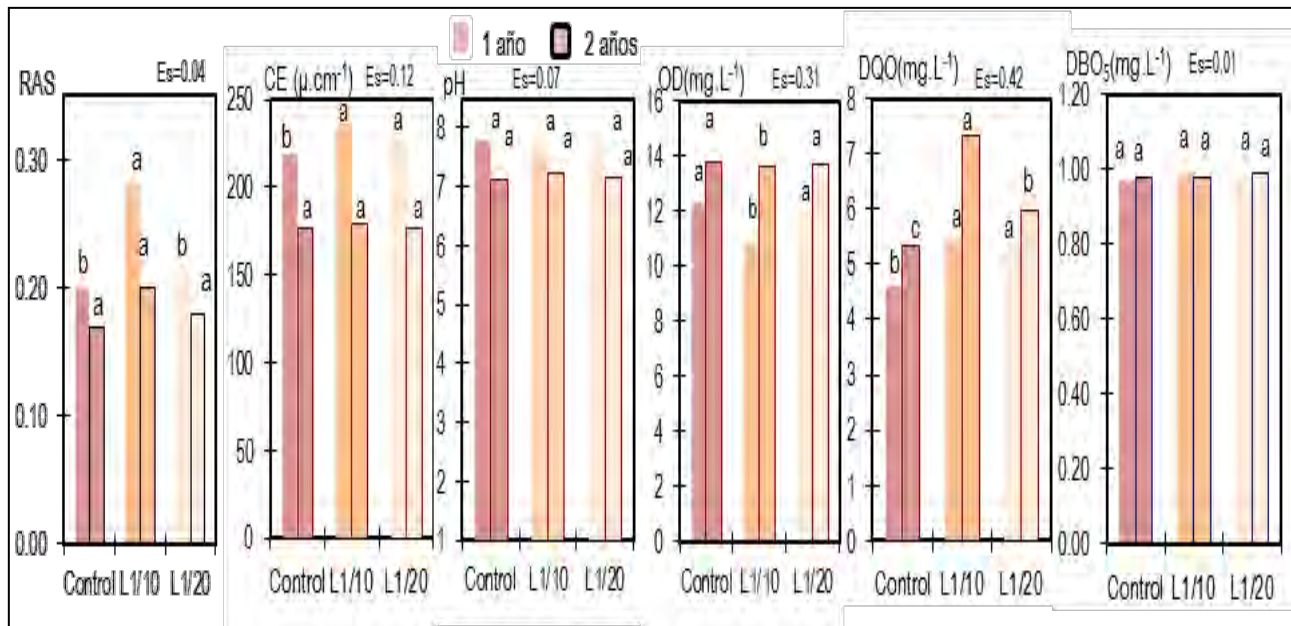
Los hombros obtenidos entre los 250-320 nm, mantuvieron el mismo patrón de comportamiento, rango característico para los extractos de álcalis de sustancias húmicas (Kononova, 1986; Garcés, 1987; Domeizel *et al.* 2004).

Estos autores plantearon, que estas señales son basadas en la absorción de grupos quinona, de lignina. Estas diferencias pueden sugerir también transformaciones en los grupos: C=C, C=O, N=N, C-OH, C-NH₂, -OH y -COOH de las sustancias presente en la MOD, lo cual se corresponde con los resultados obtenidos en los estudios espectroscópicos realizado a los AH de la MOS analizados con anterioridad en la presente investigación.

La caracterización de la materia orgánica disuelta en las aguas (MOD), la reflejó con menor complejidad (diminución del coeficiente Q2/6 y aumento de E2/3), que la retenida en los suelos (Kalbitz *et al.*, 2007). En cambio a los dos años se presentó en una relación inversa, lo que sugiere componentes de mayor condensación en la MOD (Fig. 4.16).

La relación que se establece entre ambos indicadores revelaron las diferencias detectadas en la modificación de las señales, sugieren de acuerdo con los resultados anteriores, diferentes grados de complejidad de la MOS presente en cada tratamiento y por tanto en las moléculas lixiviadas por las aguas en estos, pues pasan con ella mayormente, las de menor tamaño y más solubles en agua y se quedan retenidas en el suelo la de mayor masa molecular.

Los contenidos en mg.L⁻¹ de carbono orgánico disuelto (COD) encontrados en las aguas para cada tratamiento (Fig. 4.16), confirmaron los resultados obtenidos con anterioridad y mostraron un bajo contenido de C lixiviado por todas las columnas. A pesar de esto, se encontraron pequeñas modificaciones en los valores obtenidos en los indicadores demanda química de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD) entre los tratamientos (Fig. 4.17). En ella se aprecia que la DQO se incrementó con la disminución del OD en las aguas lixiviadas, el cual es consumido por los microorganismos durante la actividad respiratoria en su acción de metabolizar y transformar la MOD fácilmente degradable y oxidable presentes en las aguas (Taok *et al.*, 2007).



(Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 4.17. Valores medios de propiedades físico-químicos de la calidad de las aguas de lixiviación

Esto se corresponde con el contenido de COD (figura 4.16), que se duplicó al incrementarse la cantidad de Liplant aplicado, lo que sugiere el hecho de la mayor complejidad de las sustancias lixiviadas de estos tratamientos con Liplant con respecto al control y para los tratamientos con un año.

Para los tratamientos L1/10 y L1/20 se encontró el mayor consumo O_2 durante la actividad respiratoria de los microorganismos en su acción sobre una MO menos degradable referente al control (Taok *et al*, 2007).

No obstante, los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), se encontraron por debajo de 1 mg.L^{-1} para todos los tratamientos (Fig. 4.17), lo que determinó que la relación DBO_5/DQO sea muy baja y no se afecte la calidad las aguas lixiviadas por contaminación orgánica (NC XX: 1999; NC 93-02.1985).

Evaluación del contenido de iones inorgánicos en las aguas de lixiviación

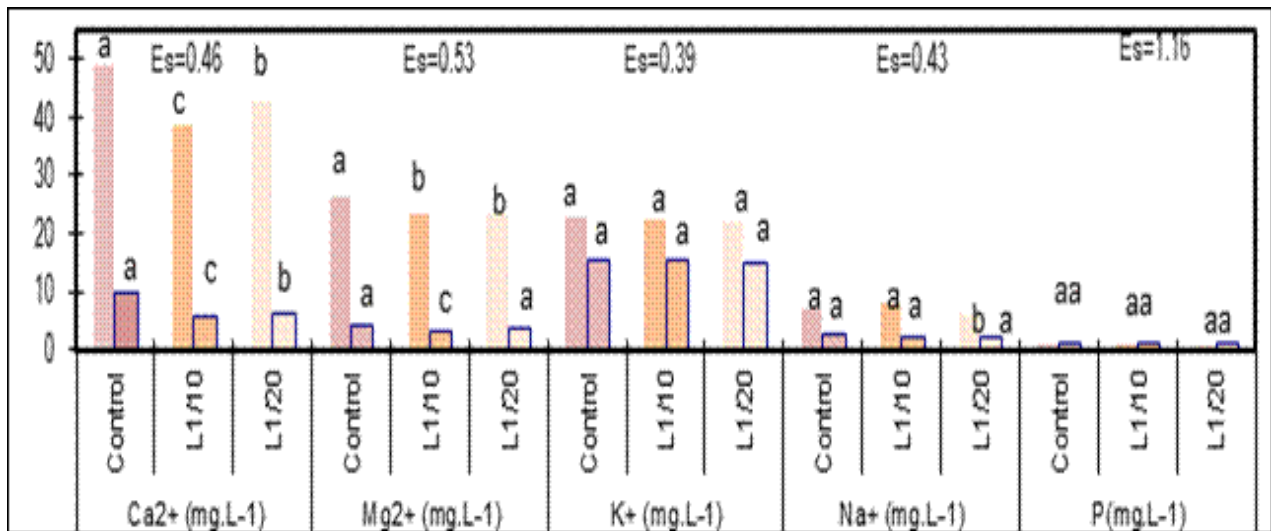
Las variaciones encontradas en el contenido de COD entre los tratamientos con Liplant respecto al control en las aguas, a pesar de ser bajo, inciden en el lavado de los iones inorgánicos, pues este es responsable de su transporte con las aguas que pasan a través del suelo, de acuerdo a las referencias reportadas por Guo y Chorover (2003, 2005).

Tal como se observa en la figura 4.18, en el contenido medio total de los iones lavados (mg/L) con las aguas de lixiviación de las columnas de suelo y los presentes en este para cada tratamiento, evidenciaron que las mayores disminuciones en los contenidos de los cationes en el suelo se presentaron

para el control (Fig. 4.10c), presentándose diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a los tratamientos con Liplant, lo que se corresponde con los resultados antes analizado.

De acuerdo con lo ocurrido en el suelo (Fig.4.10c), se presentaron los mayores contenidos de los cationes en las aguas de los suelos con un año, fundamentalmente para el Ca^{2+} , Mg^{2+} (Rivera y Treto, 1984) y en el control que se diferencia significativamente ($p < 0,05$) con los contenidos en los suelos con Liplant.

Los mayores contenidos en mg. L^{-1} en las aguas lixiviadas (Fig. 4.18), se encontraron en una relación de cationes lavados en el orden: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$, en ella se presentó con mayor intensidad de lavado del Na^+ , pues a pesar de ser el que se presenta en el suelo en menor contenido, su capacidad de formar enlaces iónicos, pudo incrementar su solubilidad en las aguas, seguido por el K^+ .



(Letras diferentes indican diferencias significativas, Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 4.18. Valores medios del contenido de iones inorgánicos presentes en las aguas de lixiviación

Para los cationes $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ se pudo ver favorecida por la afinidad que tienen por los sitios de carga negativas de la MOD que les permitiría establecer complejos con la MOD, lo que puede determinar en el lavado de éstos y/o en su retención en el suelo (Guo *et al.*, 2003; Joo *et al.*, 2008; Santos y Camargo, 2008).

Tales antecedentes pudieran ser las bases de los resultados encontrados. En todos los casos, el contenido de cationes lavados fue menor para los dos años que para uno, al presentar estos suelos un año más de estabilización, una mayor afinidad de la fracción humificada con la fracción mineral de la fase sólida del suelo, determinado por su mayor capacidad hidrofóbica. Estos resultados se corresponden con lo

reportado en la literatura en estudios lisimétricos para suelos FR (Rivera y Truto, 1984; Otero *et al.*, 1986 y Torres y Suárez, 1990).

Para los tratamientos con un año y fundamentalmente para el control que cuenta con una MO menos evolucionada, estabilizada y mayor carácter hidrofílico, evidenciado a partir de los estudios espectroscópicos realizados, la retención de los cationes es menor, la hidrofiliidad de las fracciones húmicas de baja masa molecular determinarían su afinidad por la fase líquida del suelo, lo cual favorece el lavado de las bases, fundamentalmente Ca^{2+} y Mg^{2+} , significativamente ($p < 0.05$) con respecto a los tratamientos con Liplant, con la disminución más significativa de la CCB del suelo y modificación del pH del suelo, estas propiedades repercutirán en la fertilidad del suelo y en sus potencialidades agrícolas (Fig. 4.10b).

Este patrón de conducta es semejante al seguido en los estudios realizados con las columnas monolíticas con este mismo suelo y aplicaciones continuas de Liplant para dosis de dos y cinco años a las mismas concentraciones estudiadas en esta investigación.

Se corresponden además, con los estudios reportados por Guridi *et al.* (2008), donde se demostró la capacidad de las diluciones de extractos de Liplant, entre las que se encuentran las evaluadas (1/10-1/40) y de los extractos húmicos del sólido residual de la producción de Liplant (Calderín, 2010), de extraer metales alcalinos terrosos (calcio y el magnesio) y metales pesados (Pb, Ni, Cu) de suelos contaminados; encontraron la posibilidad de retención hasta más de un 90 % de estos metales por parte de los extractos de mayores concentraciones, 1/20, basado en su capacidad de acomplejarse con las SH que están presentes en él.

Para el caso del calcio específicamente, se observa (Fig. 4.10c y 4.16), la mayor disponibilidad en el suelo con Liplant a pesar de su salida con las aguas se pudo haber favorecido a partir de los siguientes efectos:

(I) por la menor afinidad de interacción del calcio con respecto a otros metales por los sitios activos de adsorción del suelo, puede facilitar su paso con las aguas (Vageler, 2001). (II) la posible solubilización de las sales de fosfatos y carbonatos de calcio en el suelo, haciendo disponible el fósforo y el calcio en la solución del suelo, por la acción de los ácidos que conseguirían disolver las sales de calcio precipitadas (Sposito, 2008). (III) la formación de complejos de Ca^{2+} sugerido por los estudios de FTIR de los AH evaluados con anterioridad en los suelo (Vageler, 2001; Van Praager *et al.*, 2007). (IV) con el incremento del contenido de C alcanzados en los suelos se pueden establecer competencias por los sitios de adsorción en la superficie del suelo y ocurrir sustituciones de los cationes como los Ca^{2+} retenidos en él,

por estructuras cargadas positivamente derivadas de la degradación de los componentes de la MOD lábil presente, como pudieran ser los iones hidronios (H_3O^+), amonio NH_4^+ (Van Praeger *et al.*, 2007).

El mayor carácter hidrofílico de la MOS menos evolucionada con un año, fundamentalmente para el control, según lo sugerido por los estudios espectroscópicos (Fig.4.11b), favorece el lavado de las bases, trascendiendo en la disminución más significativa de la CCB y del pH del suelo (Fig. 4.10b), condiciones que influyen negativamente en la formación del humus y la fertilidad de los suelos (Frómeta, 1984).

El contenido de fósforo total lavado por todos los tratamientos se mantuvo bajo menor que 1 mg.L^{-1} (Fig.4.18), lo cual se relacionó con su alta capacidad de sorción y fijación debido a su alto contenido de Fe^{3+} en el suelo, reflejado en la conservación o mejora del contenido de fósforo durante los dos años antes expuesto (Fig.4.10b).

En las aguas de lixiviación para todos los tratamientos los valores de las propiedades de pH, relación de adsorción de sodio (RAS), y la conductividad eléctrica permanecieron bajos y no superaron los valores máximos permisibles que afecten su calidad (NC XX: 1999; NC 93-02.1985). Con los tratamientos de Liplant, representativos de la cantidad aplicada durante su uso por dos años, se preservaron de las propiedades físico-químicas de las aguas

Discusión General

Para alcanzar la sostenibilidad en la producción agrícola a largo plazo es necesario diagnosticar el estatus inicial del agroecosistema, para aplicar medidas adecuadas y eficientes en su uso y manejo, que garanticen rendimientos y ganancias económicas provechosas, con el retorno de la materia orgánica al suelo y la conservación del mismo. Este axioma planteado por Casanova (2001), se encuentra reflejado en las bases del manejo agroecológico de los sistemas de producción de la política económica de Cuba respecto al desarrollo agrícola (PCC, 2011).

Sin embargo en realidad, no llega a cumplirse en su totalidad en todos los casos, los resultados alcanzados en esta investigación facilitan una alternativa ecológica viable que puede hacer realizable esta posibilidad, al brindar un procedimiento que permite profundizar en las potencialidades del Liplant no solo en su acción como bioestimulante del cultivo, sino también en su influencia positiva en la conservación medio ambiental. La combinación de las diluciones de Liplant en el tratamiento LP resultó ser el más eficiente económicamente. La aplicación de diluciones de Liplant con el prehumedecimiento de las semillas (1/40) y en dos aplicaciones foliares de las plantas en las etapas iniciales de plantación (1/30), manifestaron un efecto de dosis óptimas acorde a la etapa fenológica del desarrollo del cultivo donde se apliquen. Se corresponde con lo informado en la literatura con la adición de SH de diferentes orígenes en bajas diluciones (Nardi *et al.*, 2009), como las extraídas de vermicompost (Calderín, 2010).

De acuerdo con lo sugerido por la TRC y TAN, este efecto logró una eficiencia en el balance fotosintético y respiratorio, que posibilitó un aumento en la generación y la movilización de asimilatos por área foliar específica estimulada, en etapas tempranas del desarrollo de las plántulas hacia la formación de biomasa (fuente), presumiblemente provocada por una disminución de la desviación de fuentes carbonadas que logran el secuestro de Carbono fotosintético para su mayor redistribución hacia los órganos de gran demanda (sumidero), como la formación y desarrollo de nuevas hojas, flores y frutos, lo cual repercute en un proceso productivo más sostenible, con mayor impacto en este cultivo poco eficiente de interés económico.

Estos resultados no solo adquieren importancia en la interrelación de la productividad biológica con la agrícola alcanzada, sino también en el papel de la MOS como factor imprescindible y universal de la sostenibilidad de los agrosistemas (Canellas, 2005), lo cual se manifestó con un mayor secuestro del carbono y de nutrientes presentes en el suelo de la finca después de realizados los tres ciclo de cultivo (Tabla 4.4). Con la aplicación del Liplant se incrementaron las reservas de carbono en un 10.3%,

unida a la tecnología utilizada en la finca, contribuyeron al incremento de las reservas de C en el suelo a

252 t.ha⁻¹.año⁻¹, lo que repercutió en el beneficio de las propiedades que determinan en la fertilidad del mismo, evidenciando una respuesta productiva positiva al mejoramiento del suelo.

Los estudios de laboratorio apoyaron estos resultados pues reflejaron diferentes comportamientos entre los tratamientos de suelo y demostraron potencialidades en la acción del Liplant en la contribución a la conservación del mismo bajo las condiciones realizadas. Indicaron además, la importancia que presenta la composición heterogénea del producto en los resultados alcanzados, presumiblemente al intervenir en el nivel de partida y las vías por la que se desarrolla el proceso de humificación en el suelo, consiguieron modificar el estado de equilibrio y la dinámica de su formación en direcciones que condicionan las propiedades y la actividad biológica activa del suelo que influyen en sus propiedades y capacidad productiva (Olivares y Canellas, 2010).

Los suelos con aplicación de Liplant, fundamentalmente con mayor dosis, lograron asegurar una estructura más estable en las fracciones de los AH alcanzando un estado donde se preservó o incrementó el grado de hidrofobicidad, condensación y complejidad, cercano al que existía originalmente en el suelo, a pesar de las condiciones *in vitro* existentes poco favorables para el desarrollo del proceso de humificación. Propiedades que manifestaron diferencias significativas con respecto al suelo control determinados fundamentalmente, porque en cada uno de los tratamientos se presentó MOS humificada con diferentes niveles de evolución, estabilidad y calidad, de acuerdo con la información obtenida en los estudios espectroscópicos realizados.

La mayor eficiencia obtenida en las respuestas de las plantas con la dilución de más baja concentración de Liplant (L1/40) en la etapa de semillero, sugirió que la bioestimulación no se debe a un efecto esencialmente nutricional, más bien, pudiera ser atribuible a un comportamiento característico de sustancias con elevada actividad biológica a altas diluciones.

De acuerdo con la composición del Liplant (Anexo 1), en el efecto estarían comprometidas sustancias bioactivas a las diluciones evaluadas logran estimular las plantas en una acción conjunta como: (I) las hormonas de crecimiento: giberelinas (GA₃), auxinas (AIA, AIP), citoquininas y precursores de estas como la adenina (II) de las fracciones humificadas (AH y AF) de baja masa molecular con actividad equivalente *like hormone*, (III) los aminoácidos, (IV) minerales formando complejo organominerales (Caro, 2004).

Canellas *et al.* (2010), acreditaron al reducir la heterogeneidad de las fracciones de los materiales vermicompostados, que la bioactividad es debida esencialmente al tamaño, la heterogeneidad y la clase

específica de las estructuras presentes en ellos. Informaron su vez, la presencia de grupos funcionales con alta actividad biológica en las plantas, pertenecientes a fracciones estructurales de diferentes y elevada complejidad, principalmente de hormonales, carbohidratos, aminoazúcares, lípidos, aminoácidos, proteínas. Estos componentes presentan gran flexibilidad conformacional en su estructura y carácter hidrofílico, lo cual posibilita un incremento en su difusión celular y con la fracción mineral la formación de complejos húmicos/nutrientes y organominerales, facilitando la nutrición de las plantas haciendo más eficiente este proceso (Caro, 2004; Calderín *et al.*, 2012).

Estas estructuras tienen una alta significación ya que son la base de la actividad química y del comportamiento físico-químico fundamentalmente de las fracciones de humus, que pueden desencadenar un conjunto de respuestas positivas en las plantas que trascienden en un proceso agroproductivo con mayor calidad (Canellas *et al.*, 2008 a,b). Tales estructuras fueron descritas en la composición del Liplant (Caro, 2004) y sufrieron transformación según la información obtenida en la caracterización espectroscópica realizada a los AH de los suelos (Fig.4.6), las que pueden influir en la mayor efectividad de la absorción de los nutrientes por las plantas y contribuir a los resultados alcanzados en la producción

Estudios más recientes (Aeschbader *et al.*, 2012; Calderín *et al.*, 2012), informaron que con la aplicación de AH a las plantas se crea una condición fisiológica parecida a un estrés oxidativo, por mecanismos que aún no se han dilucidado completamente, que posibilitan el incremento de la actividad enzimática y la generación de metabolitos antioxidantes, ante condiciones no tan intensas, como ocurrió en el experimento de campo con la incidencia del Begomovirus, pueden ser utilizados en vías de señalización que propiciarían los efectos de estimulación en el proceso de crecimiento de las plantas.

Todos estos antecedentes, repercuten en la complejidad para establecer las bases de la actividad biológica en estos compuestos naturales vermicompostados, por tales motivos se requieren de estudios futuros que permitan una información más completa de la estructura de las fracciones componentes del Liplant, fundamentalmente en las fracciones húmicas y microbiológica, para dilucidar su modo de acción y mecanismos sobre una base génica de respuestas del vegetal, ante condiciones de los agroecosistemas de estrés abióticos y bióticos, en este último de gran importancia para el manejo agroecológico de elementos nocivos indicado en las áreas urbanas y periféricas en el país (Centro Nacional de Sanidad Vegetal, 2013).

De forma general, los resultados proporcionaron informaciones que sugieren la aplicación del Liplant como una alternativa promisoriosa viable a tener en cuenta dentro de las estrategias ambientales que garantizan la adaptación de los cultivos a las condicionantes ecológicas para la obtención de un nivel de productividad

que permita contribuir a la vez, a la mejora y preservación de los agroecosistemas, acorde con la política de Cuba. Derivó un procedimiento con carácter de sistema para la aplicación del Liplant con un enfoque multi e interdisciplinario que permite la interpretación integral de los resultados y sirve como pauta para continuar estudios futuros en la evaluación en los diferentes cultivos y ecosistemas.

V. CONCLUSIONES

1. La aplicación de diluciones de Liplant con el prehumedecimiento de las semillas (1/40) y dos aplicaciones foliares a las plantas en las etapas iniciales de plantación (1/30), al insertarse al sistema productivo de una finca, provocaron incrementos significativos y reproducibles en la productividad biológica y agrícola del cultivo de tomate var. Amalia, alcanzando ganancias económicas, ecológicas y sociales, que lo justifican como una perspectiva ecológica eficiente en el marco de una agricultura sostenible.
2. Se evidenció una respuesta agroproductiva más eficiente al mejoramiento del suelo Ferralítico Rojo en las propiedades relacionadas con su fertilidad, a través de la contribución de la aplicación del Liplant al cultivo conjuntamente con las medidas de manejo utilizadas en el sistema productivo de una finca.
3. La aplicación de pruebas equivalentes al uso del Liplant por dos años, mostraron efectos favorables en la conservación y la mejora de propiedades físicas, físico-químicas y biológicas en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviado; así como la preservación de la calidad de las aguas de lixiviación del suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se propone ampliar la validación del procedimiento de aplicación del Liplant obtenido a partir de la combinación de las diluciones L1/40 para el tratamiento de las semillas y L1/30 en dos aplicaciones foliares con intervalo de 15 días en la etapa temprana del desarrollo vegetativo de crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate, en dosis de 50 y 150 l.ha⁻¹ respectivamente; así como en estudios de la acción combinada del Liplant con otros productos naturales nacionales y con otras alternativas ecológicas, en este y otros cultivos en diferentes condiciones edafoclimáticas.
2. Extender la tecnología de aplicación del producto Liplant a este y otros cultivos en los diferentes sistemas productivos, mediante la asesoría a productores y especialistas, debido a su impacto positivo en el orden económico, ecológico y social.
3. Complementar con otros estudios fisiológicos–bioquímicos y moleculares para la justificación de los efectos del Liplant en las plantas y su comportamiento ante afectaciones por plagas u otros tipos de estrés, para establecer su factibilidad como una alternativa dentro del manejo integrado del cultivo, de modo que tributen a la optimización de la tecnología de su aplicación con un carácter más racional y eficiente para el desarrollo de una agricultura agroecológica.
4. Introducir estos resultados en los programas de estudios de la enseñanza pre y posgraduada relacionados con la temática en el país.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adani, A;** Gemevire, P; Picca,G; Torbone, F; Montuneri, E. (2007). Modification of soil humic matter after cuatro years the compost application . *Cuaste management* 27 pp: 319-324.
- Aeschbader, M;** Grof, C; Sander, M. (2012). Antioxidant properties of humic substances. *Environmental Science and Technologies* 46. pp: 4916-4925.
- AGROVOC** (1995). Tesouro Agrícola Multilingüe. FAO Ed. 682p.
- Aguiar, N;** Novotney, H. y Canellas, L. (2011). Biactividad da AH e AF obtidasa da carvão químicamente funcionarizado. IX Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. Matéria orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avancos das técnicas de caracterização ao sequestro de C. Aracaju / Segipe, Brasil.
- Amir, S;** benboukht, F; Cancian, N; Winterton, P; Hafidi, M. (2008). Physico-chemical analysis of tannery solid waste and structural characterization of its isolated humic acids after composting. Ed. El Servier Science Direct. *J. of Hazardous Materials* 44 pp: 579-590.
- Andrade, M y** Reyزابال, M. (2001). Persistencia y movilidad de pesticidas organoclorados en suelos hortícolas. XV Congreso Latinoamericano y V cubano de las Ciencias del Suelo, Nov. 2001. Cuba.
- Anuario Estadístico de Cuba ONE.** (2011). Producción y precios de hortalizas. [online]. < [http:// www. ONE. cu](http://www.ONE.cu)> [buscado en feb 2012].
- Arteaga, M.** (2003). Resultados de la aplicación del Liplant sobre un suelo Ferralítico Rojo al evaluar algunos indicadores biológicos y productivos de tres cultivos. Tesis presentada en opción al grado académico de Master en Química aplicada a la Agricultura, UNAH, La Habana, Cuba. 89 p.
- Arteaga, M.** (2004). Potencialidades de sustancias bioactivas obtenidas de fuente naturales reciclables en la germinación del rábano rosado. XIV Congreso Internacional del INCA. CD ROM ISBN 959- 16- 03177.
- Arteaga, M;** Garcés, N; Guridi, F; Hurra, J. y Pino, J. A. (2005). Efecto del bioestimulante Liplant en el cultivo del frijol negro. *Ciencias de la UNAH* 2005. ISBN: 959- 16- 0378-9.
- Arteaga, M;** Garcés, N; Guridi, F; Pino, J. A; Urra, I; Rosquete, M. y Besu, D. (2007). Respuestas del cultivo de frijol negro en la fase de germinación ante la acción bioestimulante de origen natural. *Memorias Agrociencias* 2007. UNAH. ISBN: 978-959-282-653-1.
- Arteaga, M;** Garcés, N; Novo, R; Guridi, F. y Pino, J. A. (2007). Influencia de la aplicación foliar del bioestimulante Liplant sobre algunos indicadores biológicos del suelo. *Protección Vegetal* 22 (2). Ed. CENSA. 2007. pp: 32-44.

- Artingera**, R; Buckaua, G; Geyerb, S; Fritzb, P; Wolfc, M. and Kima J. I. (2000). Characterization of groundwater humic substances: influence of sedimentary organic carbon. *Applied Geochemistry* 15 pp: 97-116.
- Artz**, R. and **Campbell**, C. (2008). FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cutover peat lands. *Soil Biology & Biochemistry* 40 (2). pp: 515-527.
- Asuming –Brepong**, S; Gantner, S; Adiki, S; Archer, s: (2008). Changes in the biodiversity of microbial populations in tropical soil under different follow treatments. Elsevier Ed. *Soil Biology & Biochemistry* 40. pp: 2811-2818.
- Atiyeh**, R.; Lee, S.; Edwards, C. A.; Arancon, N. and Metzger, J. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technol.* 84.pp: 7- 14.
- Álvarez**, M.; Moya, C.; Florido, M. (2003). Resultados de la mejora genética del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) y su incidencia en la producción hortícola de Cuba. *Cultivos Tropicales* 24 (2). pp: 63-70.
- Álvarez**, Adolfo (2010). Evaluación de diferentes dosis de aplicación del bioestimulante Fitomas-E en el desarrollo vegetal y en la producción del cultivo de tomate var. Amalia en la UBPC Leonides Peña. En: Memorias VI Taller PBA. XVII Congreso Científico Internacional. 22-26 Noviembre 2010 INCA. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.
- Barantini**, S; Cierici, A. and Ramzy, R. (2006). The role of the organic matter in the soil. Water retention: some recent laboratory experiences. *Geophysical research* 8 (08715) Ed. European Geosciences Union. 2006. pp: 123-134.
- Barral**, M; Paradelo, R; Moldes, A; Dominguez, M. (2009). Utilization of MSW compost for organic matter conservation in agricultural soil of NW Spain. *Sp. Sci.Res.Cons.Recy* 53. pp: 529-534.
- Barrios**, E; Delve, R.; Bekunda, M. (2006). Indicators of soil quality: A south- south development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. *Geoderma* 135, Ed. Science Direct. pp: 248-259.
- Barriuello**, M. (2005). Influence de ions metalicos na estrutura de substancias húmicas detectadas por espectroscopia. Teses para la obtencao do titulo de doctor em ciencias. Brasil.112p.
- Benicasa**, M. (2004). Analise crecimiento de plantas. Jaboticabal. FUNP: 42p.
- Bernfeld**, P. (1955). Enzymes in carbohydrate metabolism. In: COLOWICK, S.P.; KAPLAN, N.O. (Ed.). *Methods in Enzymology*. New York: Academic Press. 1: 149-150.

- Bingrui Jia** and **Zhou** (2009). Intergrated diurnal soil respiration modelgraving season of a typical temperature steppe: effects of temperature soil water content and biomass production. Elsevier Ed. *Soil Biology & Biochemistry* 41 pp: 681-686.
- Birkhofer**, K; Merxijn, t and Bloun, J. (2008) Long-term organic farming fuster bellow and aboveground biota: Impheations for soil quality biological control and productivity. *Soil Biology & Bioquemistry* 40 (9) pp: 2297-2308.
- Bradford**, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*. 73: 248-250.
- Brussand**, L. De Ruiten, P. and Brown, G. (2007) Soil biodiversity for agricultural. Sustainability. Agriculture, Ecosystems and Environment 121. pp: 233-244.
- Busato**, G; Zandonadi, D; Dobbs, A. and Canellas, L. (2010). Humic Substances isolated form residues can as root growth promoter. *Sciencia Agricola*. ISSN: 0103-9016.
- Calderín**, A. (2010). Retención de metales pesados y actividad biológica de la fracción residual de un vermicompost. Tesis presentada en opción al Título de Máster en Ciencias de la Química Agraria. Cuba. 65p.
- Calderín**, A; Azevedo, L; Guridi, F; Vinícius, M; Sperandio, L; Castro, R. and Berbara, F. (2012). Vermicompost humic acids as an ecological pathway to protect rice plant against oxidative stress. Short communication. *Ecological Engineering* 47. pp: 203– 208.
- Campitelli**, P. y **Ceppi**,S. (2008). Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. Sc. Direct. Ed. *Geoderma* 144.pp:325-333.
- Canellas**, L. (2005). Humosfera. Tratado preliminar sobre a química das substancias húmicas. Ed. Canella & Araujo, 2005. Brasil.309p.
- Canellas**, L; Azevedo, J. y Marinho, J. (2004). Phosphorus analisis in soil Ander herbaceous perennial leguminous cover by RMM. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, Brasilia, 39 (6) 589-596.
- Canellas**, L; Piccolo, A; Dobbss, L; Spacini, R; Olivares, F; Zandonadi, D, and Facanha, A. (2010). Chemical composition and bioactivity propiers of seze-fractions separated from a vermicompost humic acid. *Chemosfere* 78. Elsevier Ed. pp: 234-246.
- Canellas**, L; Santos, A; Busato, G; Soaccini, R; Piccolo, A. and Martin-Neto, L. (2008a). Bioactivity and chemical characteristic of humic acids from tropical soils. *Soil Sci*. 173. pp:624-637.
- Canellas**, L; Teixeira, L., Dobbss, L; Silva, C; Médici, L; Zandonadi, D. and Façanha, A.(2008b). Humic acids cross interactions with root and organic acids. *Ann. Appl. Biol*. 153, 157–166.

- Capriel, P;** Beck, T; Burchert, H. (1995). Hydrophobicity of the organic matter in arables soils. *Soil Biol. Biochem.* 27 (11). pp: 1453-1458.
- Carballo, T;** Victoria, M; Gómez, M and González, A. (2008). Characterization of different compost extracts using FTIR and thermal analysis. *Sprin. Scie.Business Media B.V.* 22 (4). pp: 44-48.
- Caro, I.** (2004). Caracterización de algunos parámetros químico - físicos del humus líquido obtenido a partir de vermicompost de estiércol vacuno y su evaluación sobre algunos indicadores biológicos y productivos de dos cultivos. Tesis presentada en opción al Título de Master en Ciencias de la Química Agraria. pp. 7-10. Universidad Agraria de La Habana, Cuba. 2004.
- Casanova A. S;** Gómez, O; Pupo, F; Hernández, M; Chailloux, M; Depestre, T; Hernández, J. [et. al.,] (2007). Manual para la producción protegida de hortalizas. 2da Edición. MINAGRI-IIHLD. Eds. ISBN: 9597111.138p.
- Casanova, A;** Gómez, O; Depestre T; Pupo, R; Aranguren A. y Hernández, M. (2001). Evolución y retos del cultivo protegido en Cuba. En Memorias del III Congreso Iberoamericano del CIDAPA y I Simposio Internacional de Plasticultura, Valencia, España, 17-19 de octubre del 2001.
- Chaen, G;** Myrold, D; Bottemley, J. (2009). A soil quality index based on the equilibrium between soil organic matter and biochemical properties of undisturbed coniferous forest soil of pacific north west. *Soil Biology & Biochemistry* 41pp: 822-830.
- Chen, B.;** Ge, J.; Wang, H.; Chasng, T; Sun, T. (2007). The relation ship between soil respiration and the temperature at different soil lepths in subalpere coneferous forest of westen sich van province. *Chenese J. of Applied Ecology* 18. pp: 1219-1224.
- Chen, H;** Berntsson, R; Mingguan, M. and Zhu, K. (2008). Chacterization of insolubilized humic acid and its sorption behaviours. Elsevier Ed. Science direct. *Environment Geol.*10. pp: 466-472.
- Cleveland, C;** Neff, J; Townsend, A. and Hood, E. (2004). Composition, Dynamics and Fate of Leached Dissolved Organic Matter in Terrestrial Ecosystems: Results from a Decomposition Experiment. *Ecosystems* 7 (3). Ed. Spriger New York. pp:275-285.
- Cortegaza, P;** Torres, M. y Rosales, O. (2008). Influencia a largo plazo, de diferentes usos de suelos sus propiedades químicas y población microbiana. En: Congreso Científico del INCA 16:20008, Nov. 24-28, La Habana. Memorias CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008. ISBN: 978-959-16-0953-3.
- Costa, J;** Sampaio, A; Díaz, B; Fraga, V. e Salcedo, I. (2011). Fluxo de CO₂ e mineralização de esterco em solos do agreste paraibano cultivados com mandioca. IX Encontro Brasileiro de substâncias húmicas.

Mtéria orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avanos das técnicas de caracterização ao sequestro de C. Aracaju / Segipe, Brasil.

Cordeiro, F; Santa- Catarina, C; silveira, V; de Sousa, S: (2011). Humic acids effects on catalysis activity and degeration of reactive oxygen species in corn. *Biosci. Biotechnology. Biochem.*75.pp: 70-74.

Coyne, M. (2000). Microbiología del suelo. Un enfoque exploratorio. Ed. Paraninfo. ITP Na International Thomson Publishing Company. 12(3):128-258.

Da Costa, S. and Martin-Neto, L. (2007). Anéis aromáticos condensados e relaÇão E4/E6: estudo de ácidos húmicos de Gleissolos. Elsevier Ed. Sci. Direct. *Química Nova.* 30 (2). pp: 260-263.

De Ligñan, V. (2010). Vamedecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Ed. Agrotecnias S.A. Madrid. ISBN: 00042548221. pp: 418-482.

Dibut, B; Martinez, R; Ríos, Y. y Ortega, M. (2010). Contribución de rizobacterias fijadoras del dinitrógeno en la alimentación de cultivos económicos. En: Memorias VI CMM. XVII Congreso Científico Internacional INCA. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.

Diez, M. y Nuez, F. (2008). Tomato. En: Prohens, J. Nuez,F. y Carena, M. Ed. Handboock of plant breeding Vegetables II. Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae. New York. *Springer.* pp: 249-323.

Dobbss, L; Canelas, L; Olivares, N; Spaccini, R; Piccolo, A; Facanha, A. (2010). Bioactivity of Chemically transformed Humic Matter from Vermicompost on Plant Root Growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 6.pp: 35-45.

Domeizel, M; Khail, A. and Prudent, P. (2004). UV spectroscopy: a tool for monitoring humification end proposing an index of the manury of compost. *Biorosource Technology* 94 Ed. Elsevier. Pp. 177-184.

Duchaufor, P. y Souchier, B. (1987) Edafología 2. Constituyentes y propiedades del suelo. Ed. Masson S. A. 457p.

Echenagusía, A. (1999). Efecto del Bioplant sobre indicadores del crecimiento en vitroplantas de plátano. Tesis de Maestría. UNAH. La Habana 63p.

Elena, A; Diane, L. and García-Mina, J. (2009). The root application of purified leonardite humic acid modifies the transcriptional regulation of the main physiological root responses to Fe deficiency in cumcumber plants. Elsevier Ed. Sci. Direct. *Plant Physiology and Biochemistry* 27. pp: 29-39.

Eraniilo, G; Tech, V. and Mc Quinn, R. (2006). Meassunry assessing and comparation laboratory and field test kit indicators of soil guqlity attributes. *Agricultural management. Practices and soil quality* 452 (400).13p.

Eumedia, (2010). El cultivo del tomate. Disponible en:

<<http://www.eumedia.es/articulos/vr/hortofrut/148tomate.html>>. [Consultado octubre de 2010].

- Eveling, A;** Anjos, L; Pereira, M; Pinheiro, E; Valladares, G. (2011). Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. *Bragontia. Campinas* 70 (1). pp: 157-165.
- Facanha, A;** Olivares, F; Guridis, F. (2002). Bioatividade de ácidos húmicos efeito sobre o desenvolvimento radicular sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesq. Agropec. Bras.* 37 pp: 1301-1310.
- FAO.** Organization of the United Nations. (2004). Mejora de la calidad y la inocuidad de los frutos y hortalizas frescos: un enfoque práctico. Manual de multiplicadores. Roma 248p.
- FAO.** Organization of the United Nations. (2011). Agriculture Organization of the United Nations. Base de datos de FAOSTAT, Roma.
- FAOSTAT** (2011). Datos 2010 de producción. [online] [consultado 16 Marzo 2011]. Disponible en: <[http://www. faostat. fao. org/ faostat](http://www.faostat.fao.org/faostat)>
- Farías, M;** Santos, D; Carvalho, J; dos Santos, S; Morales, L. y Pillon, N. (2011). Carbono orgánico total y las fracciones húmicas de la materia orgánica de un Argisol sobre sistema de uso. IX Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. Matéria orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avanos das técnicas de caracterização ao sequestro de C. Aracaju / Segipe, Brasil.
- Febles, J. M;** Vega, M. y Vargas, H. (2010). Indicadores edáficos para evaluar la erosión de los suelos en áreas pilotos de la provincia La Habana, Cuba. Universidad de Santiago de Compostela, España. pp: 87 – 101, ISBN – 978. Depósito legal: LU 36-2010. [online] [consultado 15 febrero 2010]. Disponible en: <<http://www.usc.es> >
- Ferrara, G;** and Brunetti, G. (2008). Influence of foliar applications of humic acids on yields fruits quality of table-grape. *J. International Des. Sci.* V. 42. pp: 79-87.
- FlieB batch, H;** Oberholzer, H; Gunst, L. and Medir, P. (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming . *Agriculture ecosystem and Environment* 118. pp: 273-284.
- Flood, P;** Harbison, J. and Arts, M. (2011). Natural genetic variation in plant photosynthesis. *Trends in Plant Science* 6 (16). Elsevier Ed. pp: 327-335.
- Font, L.** (2007). Estimación de la Calidad del Suelo: Criterios Físicos, Químicos y Biológicos. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrícolas, Instituto de Suelo, Dirección Provincial de Suelos, Camagüey. 2007.
- Fontova, N. y** García, E. (2001). Ingeniería del Riego. Cap.1: Relación agua-suelo-planta y atmósfera. Ed. Félix Varela. Cuba. pp: 7,54-96.

- Freixo, A;** Canellas, L. e Machado, T. (2002). Propriedades espectrais da materia organica leve-livre leve intra-agregado da dois Latossolos sus plantio direto e preparo convencional. *Rev. Bras. Ci. Solo* 26 pp: 445-453.
- Frómata, M. E.** (1984). Variaciones producidas en un suelo Ferralítico rojo típico durante el cultivo continuado. Tesis Doctoral. Facultad Agronomía. UNAH. La Habana. Cuba 143p.
- Garcés, N.** (1987). Características actuales del humus en los principales tipos de suelos de Cuba. Tesis en opción al título de Doctor en ciencias. UNAH. 145p.
- Garcés, N.** (1999). Medidas para la producción, uso y conservación del vermicompost con vistas a su utilización como biofertilizante. Anuario UNAH. Ed. La Habana. Cuba.
- Garcés, N;** Hernández, A; Caro, I. y Arteaga, M. (2009). El humus de los suelos cubanos en ecosistemas tropicales y conservados. *Terra Latinoamericana* 27 (2). pp: 85-97.
- Garcés, N;** Marbot, R; Sánchez-Andreu, J; Ramos, R; García, L; Caro, I. y Arteaga, M. (2006). Evaluación del contenido de sustancias con actividad biológica en el producto Liplant (humus líquido) obtenido de vermicompost. Estudio de la composición del humus líquido obtenido a partir de vermicompost de estiércol vacuno Memorias CD- ROM: VI Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencias del suelo. Marzo 2006. ISBN: 959- 7023-35- 0.
- García-Mina, J. M.** (1999a). Efecto de las sustancias húmicas sobre el desarrollo general de las plantas (I). Acciones sobre el crecimiento vegetal, *Agrícola Vergel* 6. pp: 493-501.
- García-Mina, J. M.** (1999b). Efecto de las sustancias húmicas sobre el desarrollo general de las plantas (II). Mecanismos básicos de actuación. *Agrícola Vergel* 7. pp: 512-526.
- Gómez, O;** Casanova, A; Laterrol, H. y Anais, G. (2000). Manual técnico. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. Instituto de Investigaciones Hortícola “Liliana Dimitrova” (IIHLD): La Habana, 159p.
- Grinhut, T;** Hadar, Y. and Chen, Y. (2007) Review: Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. Elsevier Ed. SCi. Direct. *Geochemistry* 38. pp: 1073-1090.
- F
- Groot, S. P. C.** (1987). Hormonal regulation of seed development and germination in tomato. *Agricultural University of Waniken*. The Netherlands. pp: 1-95.
- Grosbellet, C;** Vidal-Beaudet, L. and Caubel, V. (2011). Improvement of soil structure formation by degradation of course organic matter. *Geoderma* 162. 27-38.pp:27-38.

- Guo, M.** and Chorover, J. (2003). Transport and fractionation of dissolved organic matter in soil columns. *Soil Science* 168 (2). Ed. Soil Science Society of América. pp. 108-118.
- Guo, M.** and Chorover, J. (2005). Leaching migration from spent mushroom substrate through intact and reparked subsurface soil columns. Ed. Elsevier. *Rev. compost and utilizations* 2 (3). pp: 223-234.
- Guridi, F.** (2000). O fósforo, a materia orgánica y a micorriza no cafeeiro (C. Arabica L.). Tesis de Doctorado, UFRRJ, Brasil, 2000.
- Guridi, F;** Calderi, A. y García, E. (2008). Retención de metales pesados y actividad biológica de la fracción insoluble de un vermicompost de estiércol vacuno. En: Congreso Científico del INCA (16: 2008, Nov. 24-28, La Habana). Memorias CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008. ISBN: 978-959-16-0953-3.
- Gutierrez-Micele, A;** García, C; Rimón, R. (2008). Formulation of liquid fertilizer for sorghum using vermicompost leacher. *Bioresource Technology* 99. pp: 6174-6180.
- Hargreaves, J;** ADL; M; Worman, P. (2008). A review of the use of composted waste in agriculture. *Ecosystems and Environment* 123 pp: 1-14.
- Heil, C.** (2010). Influence of humic, fulvic and hydrophilic acids on the growth, photosynthesis and respiration of the dinoflagellate *Prorocentrum minimum* (Pavillard) Schiller. Disponible en: <<http://www.elsevier.com/locate/hal>>. [Consultado 13/11/2010]
- Hernández, A;** Morales, M; Ascanio, Y; Borges, Y; Vargas, D. y Bernal, A. (2011). Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores, de la "llanura roja de la Habana". *Cultivo tropicales*. [En prensa].10p.
- Hernández, A;** Paneque, J; Pérez, J. y Fuentes, E. (1995). Metodología para la cartografía detallada y evaluación integral de los suelos. Instituto de suelos, MINAG, La Habana, 43p.
- Hernández, A;** Pérez, J. M; Bosch, D. y Rivero, L. (1999). Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. AGRINFOR, 64 p.
- Hernández, A;** Vargas, D; Borges, Y; Ríos, H; Morales, M. y Funes-Monzote, F. (2012). Reservas de carbono orgánico en suelos Ferralíticos Rojos. En Eds. Ríos, H. Vargas, D. y Funes-Monzote, F. "Innovación agroecológica, adaptación y mitigación del cambio climático. INCA. ISBN: 978-959-7023-52-4. Mayabeque, Cuba.pp:45-54.
- Hernández, O.** (2010). Modificaciones al proceso de obtención de sustancias húmicas a partir de vermicompost: efectos biológicos. Tesis presentada en opción al título académico de Master en ciencias de la Química agrícola. Fac. Agronomía. UNiv. Agraria. MES.Prov. Mayabeque. Cuba. 79p.

- Hernández, MI; Hernández, JC; Ramos, R.** (2010). Comportamiento de híbridos de tomate a nuevos ajustes tecnológicos en cultivo protegido. IX Simposio de Agricultura Ecológica y sostenible. En: Memorias XVII Congreso Científico Internacional. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.
- Huelva, R. L.** (1996). Obtención y evaluación de extractos con actividad bioestimulante a partir de vermicompost. Tesis en opción a Master en Ciencias Química Agrícola. Dpto. de Química. Facultad de Agronomía. UNAH. pp: 25-41.
- Huelva, R.** (2004). Evaluación de la bioactividad del humus líquido y sus fracciones húmicas obtenido a partir de vermicompost en indicadores fisiológico-bioquímicos, de crecimiento y productivos del cultivo de soya (*Glycine max* var: INCASOY-24). XIV Congreso Científico del INCA, CD-ROM, 4p., Dpto. Química. Universidad Agraria de la Habana, Cuba.
- Huelva, R. García Yagehiry, Pimentel, J. Martínez Darielly y Ramos Amarilys.** (2006). Efecto de las aplicaciones foliares del humus líquido obtenido a partir de vermicompost (Liplant) en el cultivo del pimiento (*Capsicum annun* Var: Español). Memorias. CD-ROM. VI Congreso Nacional de la Sociedad Cubana de la Ciencia de Suelo. ISBN 959-7023-35-0.
- IHSS, International Humic Substances Society** (2008). From molecular understanding to innovative applications of humic substances proceedings of the 14th international meeting. Sept. 14-19, Moscow. Russia Elsevier Ed. Science Direct vol.1 pp: 43-47.
- ISO 16072, 2002.** . Soil Quality Laboratory Methods for Determination of Microbial Soil Respiration. *Geoderma* 162. pp: 251–259
- IUSS Working Group WRB.** (2008). Base Referencial Mundial del Recurso suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos. 103 FAO, Roma, ISBN: 978-92-5-305511-1.117p.
- Joo, J; Shaeckedford, C. and Radon, K.** (2008). Association of humic acid with metal (hydr) oxide-coasted sands at soil water interface. *J. of colloid and Interface Science* 317. pp: 424-433.
- Jucumara, A; Chages, J; Aguiar, K; Canellas, L. e Olivares, F.** (2011). Biodegradação da estrutura supramolecular da ácidos húmicos isolados da actinomicetos. IX Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. Matéria orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avanos das técnicas de caracterização ao sequestro de C. Aracaju / Segipe, Brasil.
- Jude, N. y Martín, N.** (2010). Manejo de HMA y humus de lombriz en el cultivo de tomate bajo condiciones de cultivo protegido. En: Memorias VI taller PBA. XVII Congreso Científico Internacional INCA. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.

- Kalbitz, K.;** Solinger, S.; Park, J. (2009). Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review. *Soil Issues, Soil Science* 164 (4), pp: 277-304.
- Kirchmann, H;** Bergstrom, L; Katteren, T ; Gesslein, S. (2007). Comparason of long-term organic and convertional crop-Livestock systems on a previously nutrient. *Depleted soil Sweden Agron. J.* 99. Am. Soc. of Agron. Madison USA Ed. pp: 960-972.
- Kononova, M. M.** (1986). La materia orgánica del suelo. Ed. Barcelona. 365p.
- Leiva, G.A.** (2008). La Agricultura Sostenible y su impacto en Cuba. En: VXi Congreso Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (16: 2008, nov 24-28, la Habana). Memorias. CD-Rom. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008. ISBN: 978-959-16-0953-3.
- Lichtenthaler, H.** (1987). Clorophylls and carotenoids: pigments of biomenbrane. *Methods in Enzimology* 148. pp: 350-383.
- Lima, J;** Moraes, W. e da Silva, S. (2009). Acúmulo de compostos nitrogenados e actividade da reductase do nitrate em diferentes sistemas de cultivos. *Pesquisa Agropecuarias Tropical* 38(3). pp: 180-187.
- López Seijas, T.** (2001). Caracterización del movimiento del agua en suelos irrigados del sur de La Habana. Contribución metodológica al procedimiento actual para la determinación de los balances hídricos. Tesis Doctorado Instituto de Investigación de Riego y Drenaje. C. Habana. Cuba. 2001. 100p.
- Luis, A. J. y Martín, N.** (2003). Manual de Laboratorio. Métodos para el Análisis Físico de los Suelos. Universidad Agraria de la Habana. Facultad de Agronomía. Departamento de Riego, Drenaje y Ciencias del Suelo. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Departamento de Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes. San José de las Lajas. 37 p.
- Malavolta, E.** (2006). Manual de nutricao mineral de plantas. Agronómica Ceres Ed. São Paulo. 638p.
- Manlay, R.J.,** Feller, C. and Swift, M.J. (2007). Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119, pp. 217–233.
- Marchao, R;** Becquer, T; Brunet, D; Balbino, L. (2009). Carbon and nitrogen stocks in Brazilian clayey oxisol 13-year effects of integrated crop-livestock management systems. *Soil & tillage Research* 103. pp: 442-450.
- Marinari, S;** Liburdi, K; Masciandero, G; Ceccanti, B and Grego, S. (2007) Humification mineralization pyrolitic indids and carbon fractions of soil under organic and conventional mangement in central Italy. *Soil and Tillage Research* 92. pp: 10-17.
- Martin, N. y Durán, JL.** (2008). El suelo y su fertilidad. Ciencias del suelo.Cap.4: La materia orgánica de los suelos. UNAH. MES Ed. pp: 88-117.

- Martínez, A., Mauri, G. y Aleman, I. (1982).** Características biológicas de los principales suelos de Cuba II. Actividad de la invertasa y la ureasa. *Ciencias de la Agricultura* 11. pp 667 – 76.
- Martínez, L. (2006).** Evaluación del efecto del Liplant en indicadores bioquímicos-fisiológicos en el cultivo del maíz (*Zea mays L.*), Tesis Maestría, Dpto. Química, UNAH, La Habana. 50p.
- Mayea, S.; Novo, R. y Valiño, A. (1991).** Microbiología Agrícola. Generalidades. MES. (Eds.) Pueblo y Educación. pp: 222-225.
- Maylew, L. (2004).** Humic Substances in Biological Agriculture. ACRES, USA Ed. *Avoice for Eco- Agricultura* 34 (1 & 2) pp: 16-27.
- Mikkalsen, R. (2005)** Tomato flavour and plant nutrition a brief review. *Informaciones Agronómicas* 59. *Better Crop with Palnt Food* 89(2) pp: 14-15.
- Mo, J.; zhang,w; Zhu, W; Gundersen, P.; Fang, Y. (2008).** Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in souther chene. *Global Change Biology* 14 pp: 403-412.
- Mora, V; Bacaicoa, E; Zamarreño, A; Aguirre, E; Garnica, M. and García –Mina, J. (2010).** Action of humic acid on promotion of cucumber shoot growth involves nitrate-related changes. Associated with the root – to shoot distribution of cytoquinins, polyamines, and mineral nutrients. *J. of Plant Physiology* 167. pp: 633-642.
- Morales, F. J. (2010).** Distribution and dissemination of *Begomovirus* in Latin America and the Caribbean. *Sec. Ref.* 167. pp: 283-318.
- Morales, M; Hernández, A; Marentes, F; Funes, F; Borges, Y; Morell, F; Vargas, D. y Ríos, H. (2008).** Nuevos aportes sobre el efecto de materia orgánica en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados. *Agrotecnia de Cuba* 32 (1). pp: 57-64.
- Morell, F; Hernández, A; Marentes, F; Funes, F. y Borges, Y; (2008).** Degradación de las propiedades agrobiológicas de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados por la influencia antrópica, y su respuesta agroproductiva al mejoramiento. *Agronomía Tropical* 58 (4). 10p.
- Moya C., Álvarez M., J. Arzuaga, Ponce M., Dagmara Plana, F. Dueñas, J. Rodríguez J. Hernández y Lara, M. (2006).** Evaluación y selección participativa de nuevas líneas de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) en la provincia La Habana. XV congreso científico del INCA.
- Murguido, C. y Elisondo, A. I. (2007).** El manejo integrado de plagas de insectos en Cuba. *Fitosanidad* 11(3). pp: 23-28.
- Musco, A.; Sidari, M; Attina,E; francioso,O; Tugnoli, V; Nardi, S. (2007a).** Biological Activity of Humic substances is related to their chemical structure. Elsevier Ed. Science Direct. *Soil Chemistry* 1 (71) pp: 75-81.

- Muscolo, A.;**Diallo, D; Michaelsen,T; Nardi, S. (2007b). The auxin—like activity of humic substances is related to membrane interactions in carrot cell cultures. Elsevier Ed. Science Direct. *Chem Ecol.* 33 pp: 115-129.
- Nannpieri, P.;** Ascher, J.; Ceccherini, M.; Landi, L. (2003). Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science* 54. pp: 655-670.
- Nardi, S. and Pizzeghello, D.** (2007). Short communication. *Soil Biochemistry* 32. pp: 415-419.
- Nardi, S.;** Morari, F; Berti, A.; Tosoni, M. (2004). Soil organic matter properties after 40 years of different use of organic and mineral fertilizers. *Europ. J. Agronomy* 21. Ed. Elsevier. pp:357-367.
- Nardi, S;** Pizzeghello, D. and Muscolo, A. (2009). Biological activities of humic substances. Biophysico-chemical. Processes Involve Natural non living organic matter in Environmental systems. Ed: Seni&Xing & Huang, Wiley y Sons, New York .pp:305-340.
- Noelting, G. ; Bernfeld, P.** (1948). Sur les enzymes amylolytiques. III. La α -amilase: dosage d'activité et controle de l'absence d' -amilase. *Helv. Chim. Acta.* (31): 286-290.
- Novo, R.** (2009). Aspectos sobre la biología del suelo. Anuario UNAH. ISBN: 979-957-17-0943-2. 190p.
- NRIAL 498.** (1981). Métodos de ensayos para producción de frutas y hortalizas. Cuba: MINAL, 1981. 43 p.
- Nuez, F;** Rodríguez, A; Tello, J; Cuarteto, J. y Seguro, B. (2008). El cultivo de tomate. Mundi-Prensa Ed. 741p.
- Núñez, M.** (2002). Influencia de la aplicación de Pertimorf en algunos indicadores de crecimiento de plántulas jóvenes de tomate variedad Amalia. XIII Congreso Científico. INCA. La Habana. Cuba.
- Núñez, M;** Robaina, C; Coll, F. (2008). Syntheses and practical applications of brassinosteroid analogs. Cap. 4. In: Brassinosteroids: Bioactivity and Crop Productivity. Ed. by S. Hayat and A. Ahmad. Kluwers. Academic Publishers.2003. FAO. Land and Plant Nutrition Management Service. <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush>.
- Nutrído** (2010). Nutrición diaria. Disponible en: W.W.W.Nutrifo.com.ar. [Consultada en octubre 2010].
- Obuger, E;** King, G; Wengel, W (2009). Interactive effects of organic acids in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry* 48. pp: 449-457.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas (1985). NC 93-02.1985. Agua potable. Requisitos Sanitarios y Muestreo. Ed. Oficina nacional de Normalización. Ciudad Habana, Cuba. 2001.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas (1992) NC 77-15:91. Normas de calidad. Hortalizas mayores para el consumo. Vigente: Julio 1992. Ciudad de La Habana. CIDA, Normalización, Metrología y Control de la calidad.

- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas (1999). NC 52,1999: Determinación de formas móviles del fósforo y potasio.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas (2000). NC 65,2000: Calidad del suelo. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico y de cationes intercambiables del suelo.8p.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas (2001). NC 112,2001: Calidad del suelo. Determinación de la conductividad eléctrica y sales solubles totales en suelos afectados por salinidad. Rel. suelo-agua 1 (5) 4p.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas ISO 7722-01: 82 A. Determinación de pH. Método de ensayo. Cuba Control.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas ISO 7722-04: 82 C. Determinación de los sólidos solubles totales. Método de ensayo. Cuba Control.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas ISO 7722-07: 82 B. Determinación de la acidez. Método de ensayo. Cuba Control.
- Oficina Nacional Normalización.** Normas Cubanas ISO10390 (1999) Calidad del suelo. Análisis Químico. Determinación del % de Materia Orgánica y Normas Cubanas. ISO10390 (1999) Calidad del suelo. Determinación del pH. 1ra. (Eds.)
- Olivares, F y Canellas, L.** (2010). Effects of composting Technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. *Science Direct. Geoderma.* 144. pp: 325-333.
- Orellana, R; Moreno, J. M; Febles, J. M. y Vega, M.** (2008). Propuesta de indicadores edáficos para medir la sostenibilidad de los suelos Ferralíticos rojos de la provincia de La Habana, Cuba. *Agrotecnia de Cuba* 32 (1). INIFAT. ISBN: 0568-3114. Agrinfor. MINAGRI Ed: pp: 50-56.
- Ortega, E; Martínez, B; Pérez, E; Hernández, A; Noval, B; León, O.** (2010). Hongos (HMA) para la bioprotección del cultivo de tomate. IX Simposio de Agricultura Ecológica y Sostenible. Memorias del XVII Congreso Científico del INCA. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.
- Ortega, F.** (1982). La materia Orgánica de los suelos y el humus de los suelos de Cuba. Ed. Academia de Ciencias de Cuba. Instituto de Suelos. pp: 67,99,101.
- Ortega, F.** (1985). Composición fraccional del humus de los suelos de Cuba. Tesis doctoral. La Habana. Cuba.
- Otero, L; Ortega, F. y Rivero, L.** (1986). Lavado de nutrientes en un suelo Ferralítico Rojo con caña de azúcar. *Rev. Ciencias de la Agricultura* 27. Ed. Academia de Ciencias. pp: 145-150.

- Pablos, R. y Fernández, P.** (1997). Lixiviación de nutrientes en diferentes tipos de suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar. *Rev. Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba* 2. pp: 19-22.
- Palacios, N.** (2012). Efecto de los ácidos húmicos sobre el metabolismo de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis Diploma Ing. Agrónomo. Departamento de Química. UNAH, Cuba. 63p.
- Paneque, V. M.** (2002). Manual de técnicas analíticas para el análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 130p.
- Partido Comunista de Cuba. PCC.** (2011). Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución. VII. Política Agroindustrial. Primera Conferencia Nacional del PPC. Cuba. Política Ed. pp: 61-66.
- Pavón, A.; Pujol, R.; Dzharparov; Suárez, R.** (1990). Estudio del proceso de desalinización de los suelo por procesos de lixiviación. *Rev. Ciencia y técnica de la Agricultura. Riego y drenaje* 13 (2). pp: 63-69.
- Peng, S.; Piao, S; Wang, T; Sun, J; Shen, Z.** (2009). Temperature sensitivity of soil respiration in different ecosystems. Elsevier Ed. *Soil Biology & Biochemistry* 41. pp:1008-1014.
- Peralta, I; Knapp, S; y Spooner, D.** (2006). New species of wild tomatoes (*solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from Northern Perú. *Systematic Botany* 30 (2). pp:424-434.
- Pérez, A.** (2005). Evaluación cualitativa y cuantitativa de 10 cultivares de tomate y su selección según criterios del consumidor. Tesis Diploma Ingeniero Agrónomo. UNAH, La Habana, Cuba.60p.
- Pérez, J.** (2010). Programa Integral de Cultivos Varios. Proyección estratégica hasta el 2015. Liliana Ed. ISBN: 978-959-7111-55-9. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". 95p.
- Pertusatti, J. and Prado, G.** (2009). Buffer capacity of humic acid: thermodynamic approach. *Sprin. Sci. J. of Colloids and Interface Sci.*314 pp: 484-489.
- Pintor, M; Netto, A; Dobbss, L; Campostrini, E. e Olivares, F.** (2011). Efeito de ácido húmico na capacidade fotosintética de mudas de mamoeiro "Glodon". IX Entorno Brasileiro de substâncias húmicas. Matéria Orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avancos das técnicas de caracterizacao ao sequestro de C. Aracaju/Segipe. Brasil.
- Popova, T; Chakalov, K; Savov, V; Mitov, V. and Angelova, K.** (2008). Physiological activity of humic substances from BarK Compost. 14th International Meeting of the Int. Humic Substances Society , Moscow, Russia.
- Portuondo, L.** (2011). Efectos de los ácidos húmicos sobre el estrés por metales pesados en plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis en opción al título científico de Máster en Ciencias de la Química Agraria.

- Postman, J;** Schiler, M; Bloem, J. and Van Lecuwen-Haegsma, K. (2008). Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic famers systems. *Soil Biology & Biochemistry* 40 (9). pp: 2394-2406.
- pp: 1707-1715.
- Pupiro, L. A;** Vilches, E; Nuñez, E; Gómez, J; Báez, M. y León, P. (2001). Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y las principales plagas insectiles en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos tropicales* 25 (1). pp: 5-9.
- Quaggiotti, S. e** Ruperti, B. (2004). Effects of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.) *J. Exp. Bot.* 55. pp: 803-813.
- Quintero, D.** (2011). Influencia del sistema de usos en la estructura y las propiedades de los ácidos húmicos de los suelos ferralíticos rojos. Tesis presentada en opción al título de master en ciencias de la química agraria. Facultad de agronomía. UNAH, Cuba. 55p.
- Ramos, R.** (2000). Aplicación de sustancias húmicas como productos de acción bioestimulantes. Efectos frente al estrés salino. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias. Universidad de Valencia. España. 265p.
- Ratasuk, N and Nanny, M.** (2007). Characterization and quantification of reversible redox sites in humic substances. *Environ. Sci. Technol.* 41. pp: 7844–7850.
- Reinaldo, I;** Rivera, R; Álvarez, M. (2010). Pertimorf del cultivo invitro a la producción agrícola. En: Memorias VII Taller BV. XVII Congreso Científico Internacional INCA. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.
- Rivera, R. y** Truto, E. (1984). Estudios de agua lisimétricas en suelo Ferralítico Rojo cuarcítico con caña de azúcar. *Rev. Cultivos Tropicales* 6 (4). pp: 861-880.
- Roca, L;** Martinez, C; Marcilia, P. y Boluda, R. (2009). Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil-plant system. Ed.Springer. *Sci.Chemosphere* 75.pp:781-787.
- Rosa, M;** Castillos, V; Dick, D. (2008). Teor e qualidade de substancias húmicas de plannosolo sob diferentes sistemas de cultivo. *Ciencia Rural* 38 (6) pp: 1589-1595.
- Rosabal, L;** Reyes, Y; Martínez, L. (2010). Cambios de los niveles de brasionoesteroides y sus efectos de ante la respuesta al estrés salino. En: Memorias VI Taller PBA. XVII Congreso Científico Internacional. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.
- Rosquete, M.** (2012). Participación de algunas formas no húmicas de la MOS en la formación de agregados agrónomicamente útiles en suelos de composición ferralítica de la Llanura Roja de La Habana. Tesis en opción al Título de Maestro en Ciencias de la Química Agraria. Fac. Agronomía. UNAH. Cuba. 69p.

- Ruíz, E.** (1999). Evaluación de algunos parámetros químico-físicos de cinco tipos de vermicompost producidos en Cuba. Monografía. La Habana: DICT, 1999. 6-32p.
- Ruisanches, Y;** Acosta, Y; Tejada, G. (2010). Comportamiento del cultivo del tomate var. Vyta frente a la aplicación de bioproductos Fitomas –E y Dimabac. En: Memorias VI Taller PBA. XVII Congreso Científico Internacional INCA. 22-26 Noviembre 2010. San José de las Lajas, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7023-48-7.
- Sachs, S;** Bernhard, G. (2011). Humic acid model substances with pronounced redox functionality for the study of environmentally relevant interaction processes of metal ions in the presence of humic acid. *Geoderma* 162. pp:132–140.
- Salmon, S;** Artruso, N; Frizzera, L and Zapedri, R. (2008) Relation ships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation. *Soil Biology & Biochemistry* 40 (7).
- Santana, G;** Dick, D; Tomasi, M; Bayer, C. (2011). Composicao química da matéria orgânica do solo em sistemas agrícolas tropicais determinada por Py.GC/MS. IX Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. *Matéria orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avanos das técnicas de caracterização ao sequestro de C.* Aracaju / Segipe, Brasil.
- Santos, G. e Camargo, F.** (2008). Fundamentos de la Materia Orgánico do solo. *Ecosystems tropicais & subtropicals*. 2da Génesis. (Eds). Metropolis. 654p.
- Scelzu, R;** Rao, M. and Gianfreda, L. (2008). Response of an Agriculction soil to PCP contamination the addition of compost of MOD. *Soil Biology and Biochemistry* 40 (9). pp: 2162-2169.
- Schepetkin, A;** Xie, G; Quinn, M. (2008). Complement-fixing activity of fúlvica acid from shilajit and Natural Source. Inter Science. *Phytother. Res.* 2. pp: 23-32.
- Senesi, N;** Plaza, C; Brunetti, G. and Polo, A. (2007). A comparative surveys ofrent results on humic-like fracctions in organic amendment and effect on native soil humic substances. Elsevier Ed. Sci. Direct *Soil Biol. Biochem.* 39. pp: 1244-1262.
- Silvestre, M. y Vicoso, M. G.** (2006). Nutrição mineral plantas. Sociedade brasileira de Ciëncia do Solo Ed. 432p. ISBN: 85-86504-02-5.
- Siminis, C;** Loulakis, M; Kefakis, M; Manios, T. and Manios, V. (2007). Humic substances from compost affect nutrient accumulation and fruit yield in tomato. *ISHS Acta Horticulturae* 469: International Symposium on Composting & Use of Composted Material in Horticulture. [online] [consultado 20 de marzo del 2008]. Disponible en : <[http:// www.actahort.org _review_2007.doc](http://www.actahort.org_review_2007.doc)>.

- Spaccini, R.** and **Piccolo, A.** (2009). Molecular characteristics of humic acids extracted from compost at increasing maturity stages. *Soil Biology & Biochemistry* 41, pp: 1164-1172.
- Sposito, G.** (2008). The chemistry of soils. Second Ed. Oxford University PRESS. Madison Avenue, New York. 342p.
- Steinberg, C;** Meinel, T; Timofeyev, M; Bittner, M. and Menzel, R. (2008). Humic Substances (review series). II- Interactions with organisms. *Env. Sc. Poll. Res.* 15 (2) pp: 128-135.
- Stevens, A;** Wesemael, B; Bartholomeus, H. and Rosillon, D. (2008). Laboratory , fields airborne spectroscopy for monitoring organic carbon content in agricultural soils. Elsevier Ed. Sci. Direct. *Geoderma* 144. pp: 395-404.
- Stevenson, F.** (1996). Humus Chemistry. Genesis. Ed. 2. Wiley and Sons. 496p.
- Stewart, C;** Paustion, K; Connot, R; Plant, A; Six, J. (2008). Soil Carbon saturation: linking concept and measurable carbon pools. *Soil Sc. Society of America J.* 72pp: 379-392.
- Stewart, C;** Paustion, K; Connot, R; Plant, A; Six, J. (2009). Soil Carbon saturation. Implications measurable carbon pool dynamic in long term incubation. Elsevier Ed. *Soil Biology & Biochemistry* 41. pp: 357-366.
- Szpoganicz, B.** e **Brascher, F.** (2011). As interações das substâncias húmicas com o íon Fe (III) regulam a disponibilidade deste metal para as plantas. IX Encontro Brasileiro de substâncias húmicas. Materia orgânica Natural e Substâncias Húmicas: Dos avanços das técnicas de caracterização ao sequestro de C. Aracaju/Segipe. Brasil.
- Taiz, L.** and **Zegger, E.** (2005). Plant Physiology. Third Edition. Sinauer Associates, Inc., Massachusetts. 690p.
- Taok, M;** Cochet, N; Pauss, A. and Schoefs, O. (2009). Monitoring of microbial activity in soil using biological oxygen demand measurement and indirect impedimentometry. *European Journal of Soil Biology* 10. Ed. Elsevier, 2009. pp: 114-121.
- Terry, E.** y **Díaz, M. M.** (2010). Respuesta del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicon* L) a la aplicación foliar de un bioestimulante derivado del Vermicompost *Temas de Ciencia y Tecnología* 14 (41). pp: 27-32.
- Terry, E.** (2004). Microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativas para la producción ecológica de tomate, (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) Var. "Amalia". Tesis presentada en opción la grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas, INCA, 2004, La Habana. 133p.
- Tomazi, M.** (2008). Estabilidade da matéria orgânica em Latossolos do cerrado sob sistemas de uso y manejo. 108p. Tese Doutorado. Programa de Pós-graduação Ciência do solo. Faculdade de Agronomia, UFRGS. Porto Alegre.

- Torres, L. y Suárez, R.** (1990). Efecto del lavado de sales en suelos aluviales sobre el comportamiento de algunas propiedades físicas. *Rev. Ciencia y Técnica de la Agricultura. Riego y Drenaje* 13 (2). pp: 27-37.
- Totsché, K; Hensel, D. and Steffen, J.** (2007). Lysimeter and columns experiments as tools to monitor the transport of contaminants in the context of MNA. *J. Environ. Qual.* 26. pp: 1090-1100.
- Trevisan, S; Francioso, O; Quaggiotti, S. and Ardi, S.** (2010). Review: Humic substances biological activity at the plant-soil interface. Environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior* 5:6. pp: 635-643.
- UNAH** (2004). Tarjeta de costo de la producción de Liplant. Grupo de MOBI, Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana.
- Utria, E.** (2006). Uso agrícola de los biosólidos de aguas residuales urbanas y su efecto en algunas propiedades del suelo y respuestas fisiológicas del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis Doctorados en Ciencias Agrícolas. INCA, La Habana, Cuba. 2006, 157 p.
- Vageler, I.** (2001). Copper and Calcium transport through an unsaturated soil columns. *Journal of Environment Quality* 30. Ed. American Society of Agronomy. pp: 927-933.
- Valdés, R y Balbín, I.** (2002). Influencia de las sustancias húmicas en las capacidades productivas de los cultivos de interés agrícola. Curso de postgrado impacto de las SH en la producción vegetal. UNAH, 35p.
- Van Praeger, H; Smedt, F. and Va Thanh, T.** (2007). Simulation of Calcium leaching and desorption in acid forest soil. *European Journal of Soil Science* 51 (2). pp: 245-255.
- Vega, M. y Febles, J.** (2006). Evaluación de la erosividad de la lluvia en regiones agropecuarias en la porción central de la provincia de La Habana. *Rev. Cubana de Ciencias Agrícolas* 40 (2). pp:215-220.
- Velasco, E; Nieto, R. y Navarro, E.** (2011). Cultivo de tomate en hidroponía e invernadero. Univ. Autónoma de Chapingo. Mundi prensa México. 125p.
- Zaccheo, P; Cabassi, G; Ricca, G; Crippa, L.** (2006). Decomposition of organic residues in soil: experimental technique and spectroscopic approach. Elsevier Ed. Sci. Direct. *Organic Geochemistry* 33. Pp: 327-345.
- Zalba, P. and Peinemann, N.** (2002). Phosphorus content in soil in relation to fulvic acid carbon fraction. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 33. No. 19 y 20. pp: 3737-3744.
- Zaller, J.** (2006). Foliar Spraying of vermicompost Extracts: Effects on fruit quality and indicators of late – blight suppression of field –grown tomatoes. *Biological Agriculture and Horticulture* 24. pp: 165-180.
- Zancani, M; Petrusa, E; Kraj, J; Casolo, V; Spaccini, R; Piccolo, P; Macr, F. and Vianello, A.** (2009). Effect of humic acid on phosphate level and energetic metabolism of tobacco BY-2 suspension cell cultures. *Environment and Experimental Botany* 65. pp: 287-295.

Zandonadi, B; Santos, M; Dobbss, L; Olivares, F; Canellas, L. and Facanha, A. (2010). Nitric oxide mediates humic acids-induced root development and plasma membrane H⁺-ATPase activation. *Planta* 231. pp: 1025-103.

Zandonadi, D.B. (2005). Atividade da H⁺-ATPase e oxireductases de membrana plasmática e H⁺-PPase e H⁺-ATPase de tonoplasto isolados de raízes de plântulas de milho tratadas com ácidos húmicos. Lab. De solos, CCTA e Laboratorio de biología celular e tecidual, CBB, UNF, Brasil. Tese mestrado. 2005. 120p.

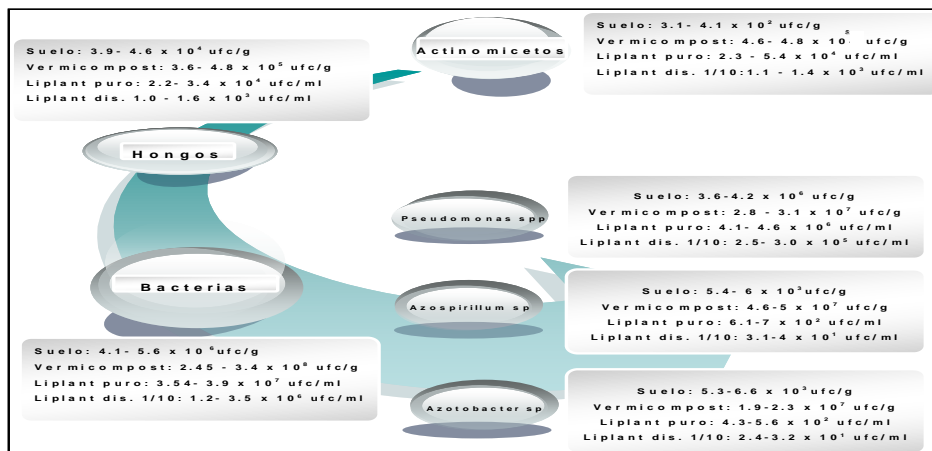
Zhang, M; Heavy, D; Henriquez, B; Salver, E. (2006). A four year study on influence to biosolid s compost application in less productive soils in Alberto. *Nutrient dynamic compost Sc. Util* 14 (1). pp: 68-80.

ZonaDIET, (2010). Vitaminas de los alimentos. Disponible en: W.W.W.ZonaDIET.com. [Consultada en noviembre del 2010].

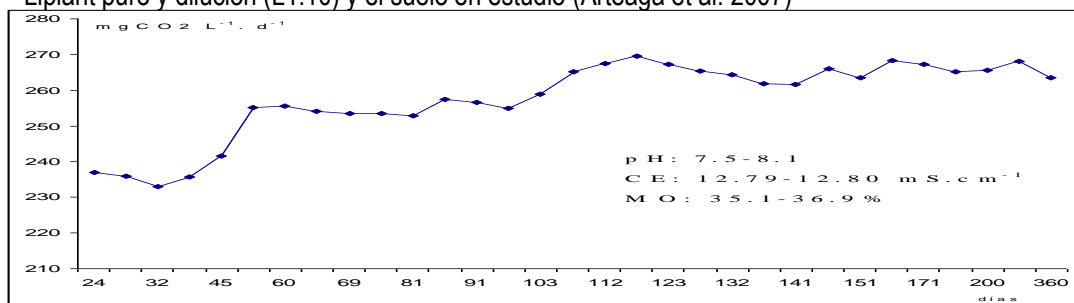
ANEXOS

Anexo 1.1. Composición y propiedades del producto Liplant (Caro, 2004; Arteaga et al., 2007).

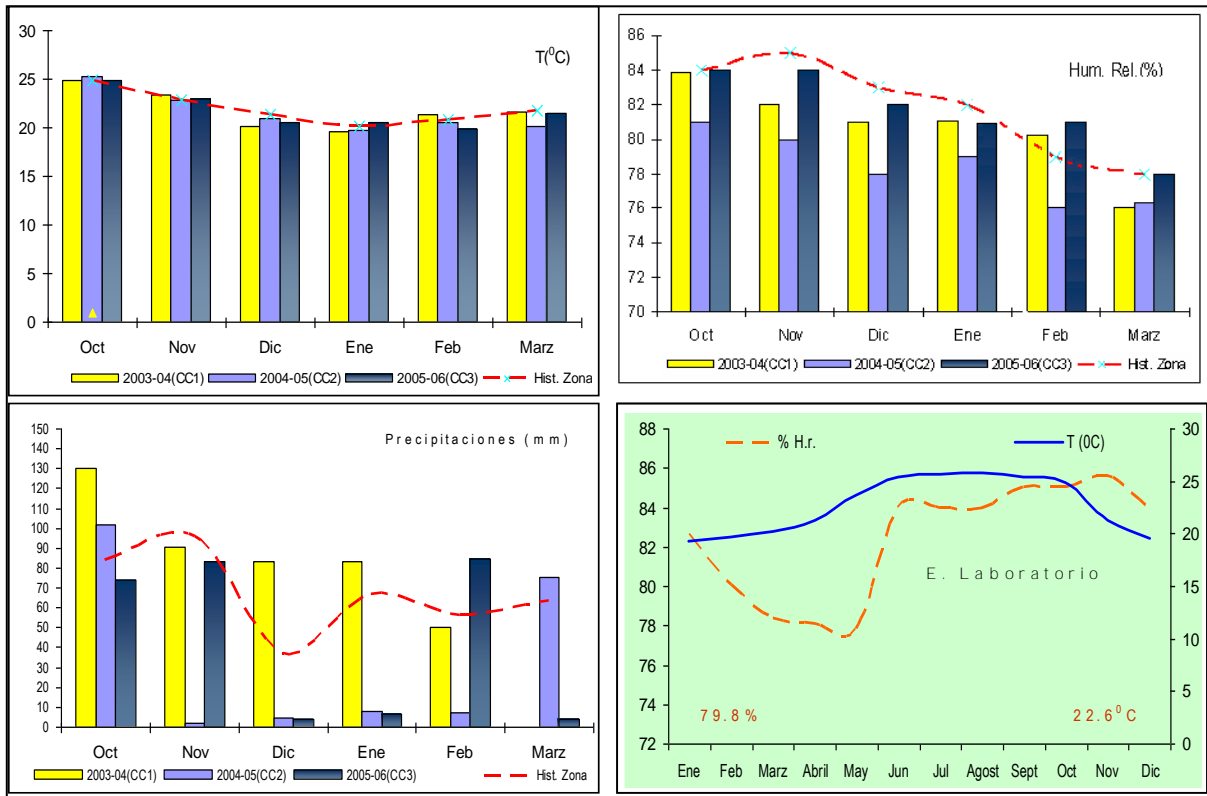
Minerales (mg.L ⁻¹)	Ca	Mn	Ni	Mg	Na	Cr	K	Sr	Cu	Fe	Zn	N	P ₂ O ₅
	20.2	0.49	0.03	6.52	570	0.23	1830	0.09	0.17	11.4	1.11	0.5 - 1%	1 - 2.8%
Aminoácidos (ppm)	Aspártico	Valina	Taurina	Leucina	Fenilalanina	Glisina	Lisina	Tirosina					
	5.16	0.20	0.12	0.04	3.38	0.24	0.04	0.07					
Hormonas Vegetales (mg.L ⁻¹)	Giberelinas (GA3)	Citoquininas (Adenina)	Auxinas (AIA, AIP)	Humus Soluble			MO	AH	AF				
	0.5 - 2	0.01 - 0.5	0.5 - 2				36% (5000Da)	49%	51%				
Microorganismos (ufc.mL ⁻¹)	Bacterias	Azopirillum sp	Azotobacter sp	Pseudomonas spp	Actinomicetos	Hongos							
	3.6 - 3.9	6.1 - 7	4.3 - 5.6	4.1 - 4.6	2.3 - 6.4	2.2 - 3.4							
	x 10 ³	x 10 ²	x 10 ²	x 10 ⁶	x 10 ⁴	x 10 ⁴							



Anexo 1.2. Resultados de los conteos de microorganismos realizados en el Vermicompost precursor del Liplant, Liplant puro y dilución (L1:10) y el suelo en estudio (Arteaga et al. 2007)



nexo1.3. Dinámica respiratoria de los microorganismos presentes en el Liplant (Arteaga et al., 2007).



Anexo 2. Variables Meteorológicas registradas durante la etapa experimental (Marzo2003-Dic.2007)

Anexo 3. Caracterización general de los suelos en estudio.

Hor	Prof. (cm)	Descripción
A ₁₁	0 – 7	Color (5YR4/3) pardo rojizo oscuro, arcilloso, estructura de bloques subangulares de 3-5 cm de tamaño, que se desmenuzan en granular, friable, fresco a ligeramente húmedo, con muchos poros grandes, algunos cutanes, raíces medianas y finas, sin reacción al HCl, límite algo notable
A ₁₂	7 – 23	Color (2,5YR5/3) pardo rojizo, arcilloso, estructura de bloques subangulares de 5 cm, friable a ligeramente compactado, ligeramente húmedo, medianamente poroso, algunos cutanes, raíces medias y finas, sin reacción al HCl, límite algo notable

Anexo 3.1.
Suelo finca
Muestra MS₁
Prof. 0-20 cm

Hor.	Prof. cm.	%Arena gruesa	%Arena fina	%Limo grueso	%Limo fino	%Arcilla	%Arcilla microag.	Factor Dispersión
A ₁₁	0 – 7	17,2	11	6	5	60,8	10,8	17,8
A ₁₂	7 – 23	13,5	10	7	7	62,5	10,2	16,3

Composición mecánica y factor de dispersión, propiedades físico químicas y reservas del carbono

Prof. cm	pH H ₂ O	P Asim. ppm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma
0 – 7	6,0	19,0	12,2	4,6	0,82	0,52	18,1
7 – 23	5,4	17,0	9,8	6,9	0,74	0,15	17,6

MO. %	C %	P ₂ O ₅ Asim mg/100g	K ₂ OAsim mg/100g	Dv kg/dm ³	Reservas de C Mg ha ⁻¹
3,03	1,91	4,4	24,3	1,10	15,6
2,24	1,30	3,9	7,0	1,12	23,3

Hor	Descripción del perfil
Agr (0-9)	Color 2,5YR3/3 (pardo rojizo oscuro), textura arcillosa, estructura de bloques subangulares de 3-4 cm. que se desmenuzan en nuciforme-granular, compactado, fresco, mediana cantidad de poros grandes, no hay reacción al HCl, aunque hay muchas gravitas de carbonato de calcio que si reaccionan, se observan algunas grietas verticales de 2-3 mm, límite neto.
B _{1t} (9-27)	Color 2,5YR3/6, rojo oscuro, textura más arcillosa, con estructura de bloques subangulares que se desmenuzan en pequeños bloques subangulares y nuciformes de 1-2 cm, compactado, un poco más fresco, con mediana cantidad de poros finos y pocos poros grandes, muchos cutanes, sin reacción al HCl, sin grietas ni gravitas, límite algo notable.

Anexo 3.2.
Laboratorio
Muestra MS₂
Prof 0-50 cm

Hor.	Prof. cm.	%Arena gruesa	%Arena fina	%Limo grueso	%Limo fino	%Arcilla	%Arcilla microag.	Factor Dispersión
Ahgr	0 – 9	7,9	9	15	9	59,1	9,5	16,1
AB	9 – 27	8,4	8	14	9	60,6	9,9	16,3

Descripción perfil. Composición mecánica y factor de dispersión, propiedades físico químicas y reservas del carbono en el perfil

Prof. cm.	MO. %	C %	P ₂ O ₅ Asim mg/100g	K ₂ OAsim mg/100g	Dv kg/dm ³	Reservas de C Mg ha ⁻¹
0 – 9	4,33	2,51	5,3	43,7	0,97	21,9
9 – 27	1,00	0,58	4,6	37,4	1,02	10,6

Prof. cm	pH H ₂ O	P Asim. ppm	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma
0 – 9	7,3	23	13,0	5,0	0,17	1,15	19,32
9 – 27	6,9	20	8,4	4,2	0,15	0,80	13,55

Densidad de población de la Vegetación presente: Pasto estrella (*Cynodon dactylon* L.), Don carlos (*Sorghum halepense* L.) ambas con densidad de población de 3-4, Romeroillo (*Bidens pilosa* L.) de 2-3, Bledo (*Amaranthus dubius* L.) de 1-2, Hierba Lechosa (*Euphorbia heterophylla* L.) de 1-2. En los alrededores del área de la zona estudiada árboles de mango (*Mangifera indica* L.), guayaba (*Psidium guajava* L.) y árboles de noni (*Morinda citrifolia* L.) sembrado un año antes (AGROVOC, 1995)

Anexo 4. Criterios para la selección de las diluciones y dosis de Liplant aplicar.

4.1. En el estudio de campo la selección de las diluciones 1:30 y 1:40 v: v aplicadas con mochilas, se basó en estudios con el producto con cultivos como gladiolo, frijol, ají, soya, rábano, tomate en estudios de germinación (Arteaga, 2003; Arteaga *et al.*, 2004, 2007; Huelva *et al.*, 2004) y aplicaciones foliares (Arteaga, 2003; Arteaga *et al.*, 2005; Huelva *et al.*, 2004; Garcés *et al.*, 2006); se realizan dos aplicaciones foliares en etapa de plantación con dosis de 50 L.ha⁻¹ en la primera aplicación y 150 L.ha⁻¹ para la segunda en un intervalo de 15 días.

4.2. En el cálculo de la cantidad de Liplant que se añadió al suelo en las **pruebas de aplicación equivalentes a dos años de utilización** del producto sobre plantas de tomate en estudios de laboratorio, se asumieron las anteriores y las siguientes consideraciones:

(I) Se seleccionaron las disoluciones buscando un mayor impacto del producto, con las concentraciones más altas aplicadas a los cultivos 1/10 (v:v) y 1/20 (v:v), las que triplican y duplican las utilizadas actualmente (1/30- 1/40 v:v).

(II) La cantidad calculada correspondería para uno y dos años de aplicación continua, buscando un impacto superior sobre las propiedades del sistema suelo-agua.

(III) No se consideró aporte al suelo por la vía de imbibición de las semillas tratadas con el producto pues las semillas se siembran después de un proceso de 12 horas de secado al aire y la sombra.

(IV) En una parcela cada año se pueden realizar tres cosechas de cultivos de ciclo corto.

(V) En cada cosecha se hacen dos aplicaciones foliares de Liplant: en la etapa inicial de siembra del cultivo en dosis entre 50–75 L.ha⁻¹ y una segunda en dosis entre 150–300 L.ha⁻¹, en función del follaje de la planta, para el cálculo se tomaron las máximas dosis.

(VI) La cantidad de producto que puede llegar al suelo al aplicarse foliarmente de manera correcta se encontró entre el 25–50% del volumen añadido, de acuerdo a lo estimado por Edwards (1966), citado por Andrade y Reyzaabal (2001), para otros productos que se aplican por vía foliar.

(VII) Como el producto que pudiera llegar al suelo cae en su superficie y se incorpora a este lentamente, se tomó el área de una hectárea para conocer los volúmenes que caen en la superficie por cm² de las macetas y frascos empleados en el estudio.

(VIII) Los cálculos indicaron que debían realizarse seis aplicaciones continuas con esas diluciones por año de aplicación de Liplant en alta concentración con dilución 1:10 v:v. Se añadió de Liplant puro en una dosis de 0,0165 mL.año⁻¹ a los frascos y de 0,022 mL.año⁻¹ a las macetas.

Anexo 5. Entrevista realizada a los consumidores para valorar su preferencia por los frutos obtenidos en cada uno de los tratamientos en los ciclos de cultivo.

Se realizó a todas aquellas personas que visitaron el estante que mostraba los frutos obtenidos agrupados por tratamientos, ubicados en el Mercado Agropecuario de San José de las Lajas en los tres ciclos de cultivos evaluados (CS₁, CS₂, CS₃).

Objetivo:

Valorar el grado de aceptación de los consumidores por los frutos obtenidos por cada tratamiento y ciclos de cultivos.

Se fundamentó en preguntas:

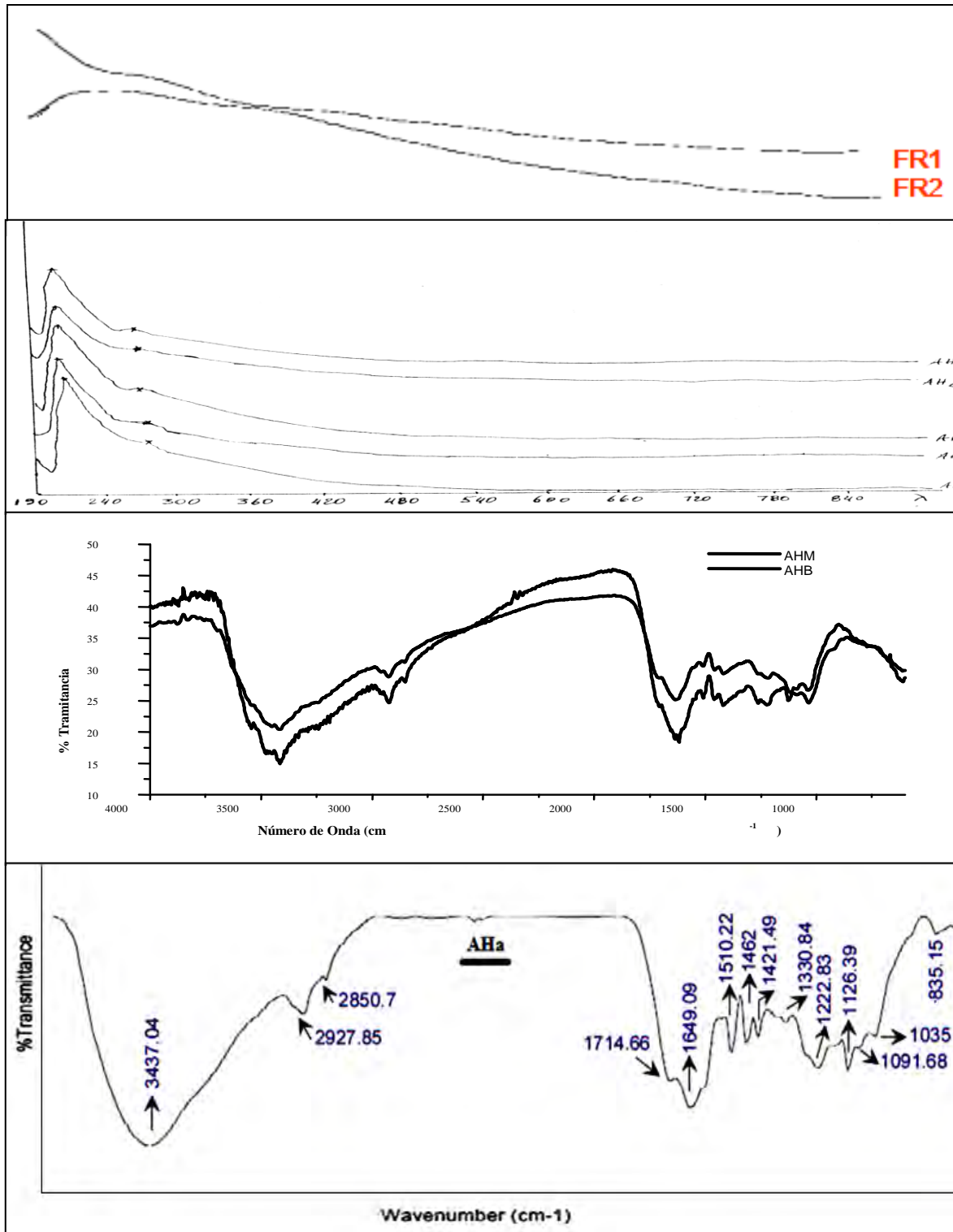
- De acuerdo al tamaño de los frutos que se muestran, ¿cuál Ud. prefiere para su consumo?
- Según la forma y consistencia de los frutos que se muestran, ¿cuál Ud. prefiere para su consumo?
- Observen los grupos de frutos y exprese su criterio de aceptación de acuerdo su apariencia.
- Ud. tiene la posibilidad de degustar un fruto por cada grupo que se muestra:
¿Cuál considera que tiene mejor sabor ¿Por qué?
- ¿Cómo prefiere ud. consumir los frutos seleccionados?
- Otras consideraciones aportadas por los consumidores entrevistados.

Anexo 6.1. Montaje de la columna de lisimétrica con suelo del experimento 2 con uno y dos años para cada tratamiento.



Anexo 6.2. Criterios seguidos para el cálculo de la lámina de agua aplicar en las columnas lisimétricas de suelo.

1. La lámina de agua que se le aplicó a las columnas fue de 8.87 ml, calculada a partir de la expresión de la Norma Parcial de Riego Neta (Fontova y García, 2001). Estas permitieron mantener la humedad del suelo en las columnas al 60 % de su capacidad de campo (Luis y Martín, 2003), durante las cuatro semanas de estabilización.
2. La cantidad total de agua aplicada a las columnas de suelo se calculó a partir de las referencias obtenidas en los estudios realizados con columnas lisimétricas en estudios con diferentes compuestos naturales (Guo and Chorover 2003; Totsché *et al.*, 2007).
3. El volumen total de agua aplicado se correspondió con el valor medio histórico de la precipitación anual de la zona de 1650 mm (media anual histórica reportada por más de 32 años en la zona, según lo informado por la Estación Territorial de Tapaste de la provincia Mayabeque, se encuentra por encima del volumen anual (1450–1550 mm) de las precipitaciones ocurridas en la región central de la provincia de Mayabeque, donde se presentan los valores más elevados (15-17%) en el índice de concentración de precipitaciones (Vega y Febles, 2006).
4. Se obtiene un impacto superior al duplicar el volumen de agua que se infiltraría, cuando llueve es aprovechables sólo el 55% (907 mm) del volumen que cae se infiltra, de acuerdo con el contenido de calculado por el método de Savo (Fontova y García, 2001); considerando además el coeficiente de infiltración de lluvias y las características de este suelo Ferralítico Rojo Lixiviado.



nexo 7. Espectro UV-Visible de los de AH de suelos cubanos: (a) Ferralíticos Rojos 1 y 2 (Garcés, 1987) (b) UV-Visible de AH para sustancias vermicompostadas (Ruiz, 1999) (c), FTIR de AH presentes del Liplant (Caro, 2004) (d) DRIFT de AH del sólido residual de la obtención del Liplant (Calderín, 2010)

Tabla 4.4. Caracterización de las señales de los espectros FTIR de los AH (0-20 cm) de los suelos no lixiviados.

Señal cm ⁻¹	Control 2Años	Liplant (1:10) 1Año	Liplant (1:10) 2Años	Caracterización de las bandas (Liplant con respecto al Control)
3500-3000	3423 ν (O-H) ν (C-H), ν (N-H)	3431 ν (O-H), ν (C-H), ν (N-H) 3401 ν (O-H) ν (C-H), ν (N-H) 3348 ν (O-H) 3290 O-H (PH), ν (N-H) 3028 ν (C-H); 3001 ν (O-H)	3353 ν (N-H); 3250 O-H (PH) 3212 ν (N-H); 3182 ν (C-H) 3021 ν (C-H); 3010 ν (C-H) 3000 ν (O-H)	Superposición de Señales y Bandas intensas O-H Formación de puente de hidrógeno (PH), deslocaliza la absorción para menores energías en estos rangos, Estiramientos axiales ν (O-H) inter e intramolecular de ácidos carboxílicos, fenoles y alcoholes Estiramiento ν (N-H) de aminas y amidas presentes -Estiramiento ν (C – H) de ésteres y alquenos
3000-2500	-----	2929 ν (C-H) 2850 ν (C-H) 2500 ν (O-H)	2920 ν (C-H) 2850 ν (C-H) 2500 ν (O-H)	Absorción moderada Estiramiento ν (C-H) simétrico y asimétrico de CH ₂ y CH ₃ Deformación ∂ (C-H) simétrico y asimétrico de CH ₂ y CH ₃
1700-1000	1720 ν (C=O) 1665 ν (C=C) 1631 ν (C=O) 1556 ν (N-H) 1453 ν (C-H) 1400-1398 ∂ (C-H ₂ ,C-H ₃) ∂ ax(C-O) 1265 ν (C-O) 1236 ν (C-O) 1127 ν (C-O) 1037 ν (C-O)	1758-06 ν (C=O) 1720 ν (C=O) 1659-51 ν (C=O) 1621 ν (C=O) 1577-04 ν (C=C) aromático 1540-46 ν (N-H) 1412 ν (C-O) 1384 ν (C=O), ∂ (C-H ₃) 1257 1221 1200 ν (C-O)fen 1127 ν (C-O) 1085 ν (C-O-C) alif 1000 ν (C-O)	1758-06 ν (C=O) 1720 ν (C=O) 1641-36 ν (C=O) 1580 ν (C=C) aromático 1504-1453 ν (C=C) aromático 1400 ν (C-O) 1260 ν (C-O) aromático 1231 ν (C-O) aromático 1125 ν (C-O) 1085 ν (C-O-C) alif 1034 ν (C-O)	Absorción débil y Banda intensa Estiramiento de ν (C=O) de aldehídos, amida, cetonas, lactona y ácido carboxílico. Banda de absorción larga e intensa resultante de asociaciones poliméricas Ésteres aromático, Estiramiento ν (C-O-C) de ésteres, ácidos carboxílicos ó (C=O) cetonas y/o quinonas, alcoholes Bandas intensas hombro de vibración de grupos C=O en COOH y otros C=O Sitio de reacción con metales-1720cm ⁻¹ Absorción moderada Estiramiento ν (C-O) polisacáridos Estiramiento ν (C – H) de ésteres y alquenos, alifáticos y metilo Absorción débil Deformaciones ∂ (C-H ₂ y C-H ₃) adyacentes a carbonilos y ∂ ax(C-O), ∂ (OH) ácidos carboxílicos Absorción moderada Estiramiento ν (N-H) de aminas y amidas presentes Absorción débil Deformación angular fuera del plano Bandas intensas Absorción débil Alquenos sustituidos y no sustituidos
1000-500	904 ∂ anillo aromático 850-31 ∂ (R ₂ C=CH ₂) 639 (CH=CH)	901 ∂ anillo aromático 817 ∂ anillo aromático 771,722-713 anillo aromático 569(CH=CH)	929 ∂ (OH) y ∂ (RCH=CH ₂) 829 ∂ anillo aromático 725-650 ∂ anillo aromático	

Tabla 4.5. Caracterización de las señales de los espectros FTIR de los AH (0-20 cm) de los suelos lixiviados con Liplant con respecto al suelo control.

Región del espectro	Asignación (ν Estiramientos y ∂ deformación)	Caracterización de las bandas (L1Año y L2Años con respecto al Control)
3500 - 3000 cm ⁻¹ C1a 3434 · C2a 3432 L1a 3430, L2a 3422	-Estiramiento ν (O - H) inter e intra asociados a puentes de hidrógeno, moléculas de fenoles, ácidos carboxílicos, aldehídos y alcoholes --Estiramientos ν (N -H) de grupos aminas y amidas -COOCa ²⁺ -Estiramiento ν (C - H) de ésteres y alquenos	Banda más intensa para el L1A, más centrada y definida Bandas de grupos C-H de ésteres y para alquenos formación del complejo de Ca ²⁺
3000-2000 cm ⁻¹ C1a 2924 · C2a 2924 L1a 2959, L2a 2924, 2859 L1a 2328, L2a 2110 cm ⁻¹	-Estiramiento simétrico y asimétricos ν (O-H) de estructuras alifáticas -Estiramiento ν (C-H) de grupos alifáticos	Son casi inexistentes en el suelo control, desaparecen L1/10 para dos años, para control con respecto. Aparecen con mayor intensidad en L1A
2000-1000 cm ⁻¹ L1a y L2a 1708 cm ⁻¹ C 1a y 2a 1636 cm ⁻¹ L1a 1640 cm ⁻¹ L2a 1641 cm ⁻¹ L2a 1616 cm ⁻¹ C 1a y 2a 1558 cm ⁻¹ C1a 1507 cm ⁻¹ .C2a 1541 cm ⁻¹ L1a 1541 cm ⁻¹ , L2a 1540 cm ⁻¹	-Estiramiento de ν (C=O) de aldehídos, cetonas y de COOH - Estiramiento de ν (C=N) de amidas banda 1 - Estiramiento de ν (C=C) correspondientes a alquenos y amidas N-N sutituídas, aromáticos - Estiramiento de ν (C=O) correspondientes a quininas - Estiramiento de ν (N-H) de amidas de proteínas --COOM -Deformaciones ∂ (N-H) de amidas y amidas secundarias -Deformaciones ∂ (N-H) de amidas y amidas secundarias	Se mantienen más definidas aspecto muy importante a tener en cuenta, pues son sitios de reacción con metales. Control insaturaciones C=C de alquenos Liplant a los dos años se obtiene más definida, lo que puede posibilitar la formación de enlaces con los metales y su retención en el suelo Más intensas en los tratamientos con Liplant con 2A asignadas a núcleos aromáticos Incrementa la intensidad del suelo Liplant 1A.
C1a 1456 cm ⁻¹ , C2a 1456 cm ⁻¹ L1a 1541 cm ⁻¹ C1a 1416 cm ⁻¹ , L1a 1421 cm ⁻¹ L2a 1524 cm ⁻¹ C2a 1368 cm ⁻¹ , L1a 1392 cm ⁻¹ , L2a 1379 cm ⁻¹ C1a 1202 cm ⁻¹ .C2a 1200 cm ⁻¹ L1a 1257 cm ⁻¹ , L2a 1266, 1222 cm ⁻¹ C1a 1121 cm ⁻¹ .C2a 1132 cm ⁻¹ L1a 1127, 1005 , L2a 1125 cm ⁻¹ L1a 1032 cm ⁻¹ , L2a 1081 cm ⁻¹ C1a 995 cm ⁻¹ .C2a 996cm ⁻¹	- Estiramiento de ν (C=C; C=N) de estructuras aromáticas -Deformaciones ∂ (O-H) -Estiramiento de ν (C-O) de fenoles -Deformaciones ∂ (C-H ₂) adyacentes a carbonilos -Estiramiento ν (C-H) de grupos alifáticos y metilos -Deformaciones ∂ (O-H) y ν (C-O) de OH fenólicos -Deformaciones ∂ (C-H) de CH ₂ y CH ₃ -Estiramiento ν as(COO-) -Deformaciones ∂ (OH) de COOH, alcoholes y fenoles -Estiramiento de ν (C-O) -Deformación ∂ (O-H) de COOH -Estiramiento de ν (C-O) de fenoles y ésteres aromáticos -OH fenólicos - Polisacáridos	Aparecen en los suelos lixiviados y en el control las absorciones tienen mayor definición e intensidad de los grupos funcionales, cosa que ocurre cuando la estructura de la molécula es menos compleja y condensada que los de Liplant. En el L1A se hacen más definidas y más semejantes a las del Liplant, lo que denota la presencia de estructuras de menor complejidad química en ellas. Aparecen más intensas en el L2A En los tratamientos con Liplant se vuelven más complejas, como si estos grupos se hubieran integrado a la macromolécula de AH. Señales que por estar muy cercanas a las de los grupos carboxilos se transforman en una banda más ancha. Aparecen más intensas en el L1A

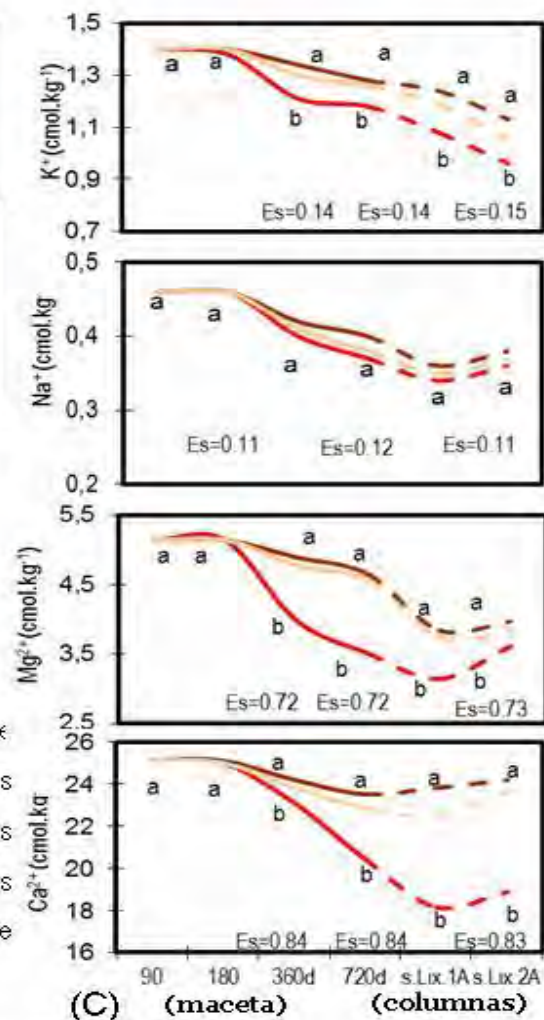
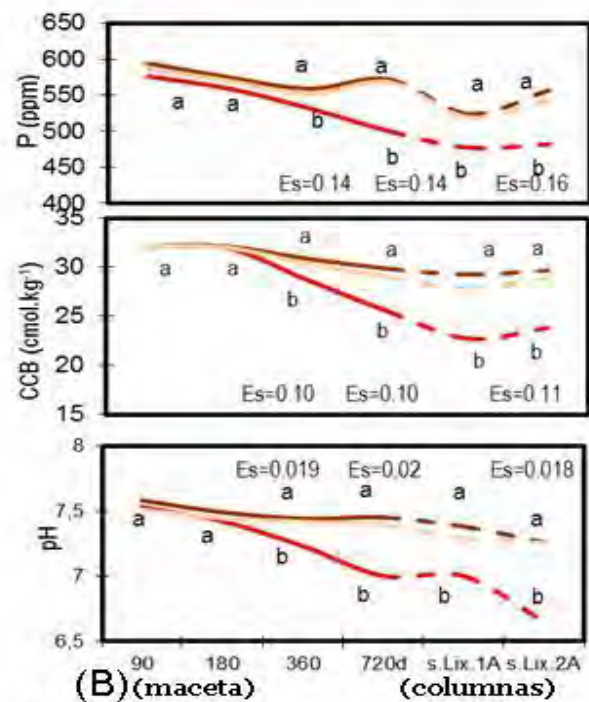
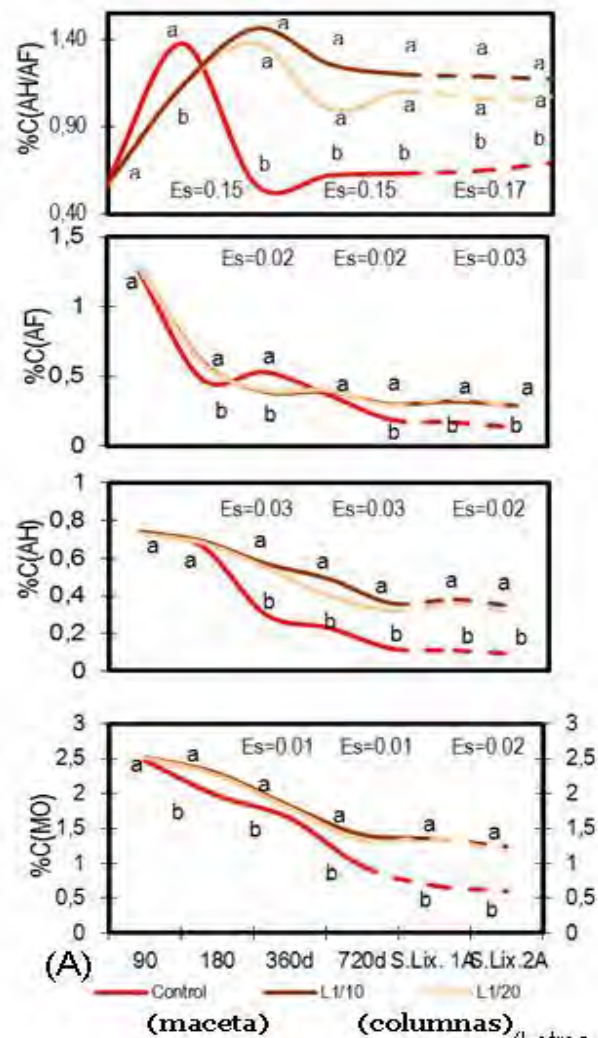


Figura 4.5. Dinámica de variación del contenido de elementos evaluados en el suelo durante dos años (A) Carbono de la materia orgánica (MO), Ácidos húmicos (AH), Ácidos fúlvicos (AF). (B) Cationes asimilables. (C) Fósforo (P), pH, Capacidad de cambio de bases del suelo.

(Letras diferentes indican diferencias significativas según Tukey, $p \leq 0.05$).