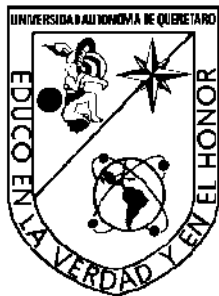


Evaluación de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones de fertilización orgánica y química en condiciones protegidas.

2015

Martín Galicia Rubio



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

Evaluación de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones de fertilización orgánica y química en condiciones protegidas.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agroindustrial

Presenta:

Martín Galicia Rubio

Amealco de Bonfil Querétaro, Noviembre de 2015

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Evaluación de nitratos en lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones de fertilización orgánica y química en condiciones protegidas.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de

Ingeniero Agroindustrial

Presenta

Martín Galicia Rubio

Dirigida por

Dr. J. Jesús De Santiago Pérez

Amealco de Bonfil Querétaro, Octubre de 2015

SINODALES

Dr. J. Jesús De Santiago Pérez

Presidente

M. en C. Luciano Ávila Juárez

Secretario

M. en C. Karla Nicol Hernández Puente

Vocal

M. en C. Alejandra Rodríguez González

Vocal

RESUMEN

La producción mundial de vegetales se ha incrementado en los últimos años debido a la utilización de la tecnología, el uso intensivo de fertilizantes, pesticidas y maquinaria agrícola. Sin embargo, esto ha creado efectos secundarios negativos, como los problemas de salud derivados del uso indiscriminado de productos tóxicos y contaminación del medio ambiente. La lechuga es uno de los cultivos más producidos en todo el mundo, que no está exento del uso intensivo de estas prácticas. La lechuga es uno de los vegetales que acumula mayor concentración de nitratos (NO_3^-) en su estructura foliar; esta molécula se reduce a nitrito (NO_2^-) por una enzima segregada de bacterias contenidas en la saliva humana llamada nitrato-reductasa. Esta sustancia puede afectar a la salud de varias maneras, desde una enfermedad respiratoria hasta tener relación con algunos tipos de cáncer. En esta investigación, se propuso una técnica de cultivo basado en la fertilización orgánica, que tiene la intención de producir hortalizas con bajo contenido de NO_3^- , sin comprometer la calidad del producto, por lo cual el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de diferentes fertilizaciones orgánicas a base de téos orgánicos y fertilizaciones químicas sobre el contenido de NO_3^- y el crecimiento en lechuga bajo condiciones protegidas. Se estableció un diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones, y una unidad experimental de 4 plantas, teniendo un total de 12 tratamientos (que contuvieron vermicomposta sólida en suelo) más el testigo manejando un factor el cual fue la fertilización y 12 niveles de dosificación. Los téos orgánicos fueron elaborados a partir de compostas de borrego, de vaca y de vermicomposta comercial, además se aplicó una fertilización foliar de Steiner (1984), todos a dosificaciones de 1.5, 2 y 2.5 mS cm^{-1} , además de Steiner (1984) al 100% vía fertirriego como testigo. Fue evaluado el contenido de nitratos para el establecimiento de una hora de cosecha, contenido de nitratos respecto a la fertilización y % de materia fresca y seca. Los datos fueron recabados 4 y 2 semanas antes de la cosecha y en la cosecha, y fueron analizados estadísticamente con ANOVA Y prueba de Tukey a un nivel de confianza del 95%.

Los resultados mostraron que existe una diferencia altamente significativa con respecto a los tratamientos, el menor contenido de nitratos fue registrado en T1 perteneciente al té de composta de borrego a 1.5 mS cm^{-1} de Ce, estableciéndose muy por debajo del tratamiento control siendo éste 4.33 veces mayor que T1, estableciendo que los fertilizantes orgánicos a diferencia de los químicos aportan menor contenido de nitratos en la estructura de la hoja (Campbell, 1999; Antón & Lizaso, 2001; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007; Escalona *et al.*, 2009). Lo anterior indica que puede reducirse el contenido de nitratos en lechuga con la aplicación de fertilizantes orgánicos por lo que son considerados una alternativa ambiental y económicamente amigable para el productor.

ABSTRACT

The world production of vegetables has been increasing in recent years due to the use of technology, intensive use of fertilizers, pesticides and machinery. However, this has created negative side effects such as health issues and soil pollution. Lettuce is one of the most produced plants worldwide, and it is not excluded from the intensive use of those practices. Lettuce is a vegetable that accumulates higher concentration of nitrates (NO_3^-) in its leaf structure; this molecule is reduced to nitrite (NO_2^-) by a segregated enzyme of bacteria contained in human saliva called nitrate-reductase. This substance can affect the health in several ways, from respiratory illness to some cancer types. In this work, we propose a crop technique based on organic fertilization which intends to produce healthy vegetables without compromising the quality of the product. The objective of this research was determinate the effect of organic fertilizers by the use of organic teas and chemical fertilizers about nitrate content in lettuce under greenhouse conditions. The experimental method was randomized block design with 4 repetitions and an experimental unit of 4 plants, a total of 12 treatments and a control with chemical fertilization, the factor was the fertilization and 12 levels of application that correspond to doses and concentration. The organic teas were made with sheep, cattle manure composted and commercial vermicompost, also a foliar fertilization of Steiner (1984) was applied, the nutrient concentration was regulated by the electrical conductivity (EC) using 1.5, 2 y 2.5 mS cm^{-1} , and 100% Steiner (1984) fertilization in fertirrigation way as the control. The nitrate content to determinate the harvest hour, nitrate content respect to fertilization and fresh and dry matter percentage were evaluated. Data were obtained 4 and 2 weeks before the harvest and during the harvest, and were statistically analyzed with ANOVA and test of Tukey with a confidence level of 95%. The results showed that there is a high significant difference respect to the treatments; the least nitrate content was registred in T1 (organic tea of sheep manure composted to 1.5 mS cm^{-1} of Ec), where the control was 4.33 bigger than T1, it is important consider that the organic fertilizers in difference with the chemical fertilizers contribute less nitrate content in

the leaf structure of the lettuce (Campbell, 1999; Antón & Lizaso, 2001; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007; Escalona *et al.*, 2009). The previous information showed that could be reduced the nitrate content in lettuce with the application of organic fertilizers because are considered an enviromental and economic alternative to the producer.

DEDICATORIAS

A mis padres, Jesús Galicia y Alejandra Rubio y a mi hermana María de Jesús Galicia Rubio y abuela María de Jesús Chávez, quienes siempre me han otorgado su gran apoyo y han estado conmigo desde el inicio de esta travesía

A mi familia, primos, sobrinos, abuelos, tíos sobre todo a Edmundo Rubio Chávez, quien nos cuida a todos desde donde esté

A mis amigos

A mis maestros

A la Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Ingeniería Agroindustrial, Campus Amealco.

AGRADECIMIENTOS

Lo primordial para mi es y será mi familia, sin ella no estaría donde estoy, en unidad hicimos posible esta extraordinaria travesía.

A mi casa de estudios, la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme el conocimiento necesario para emprender un mejor futuro.

A la Facultad de Ingeniería, por ofrecer esta excelente profesión de Ingeniería Agroindustrial.

A mi director de tesis, Dr. J. Jesús de Santiago Pérez quien ofreció sus conocimientos y apoyo ya que juntos logramos esta investigación.

A mis sinodales M. en C. Luciano Ávila, M. en C. Alejandra Rodríguez y M. en C. Nicol Hernández; por sus acertadas críticas y correcciones en esta investigación.

A las maestras Rosalía Sosa Cruz, Adriana Sánchez Martínez y Susana Hernández que confiaban en mis ideales y me guiaron durante mucho tiempo.

A mis compañeros de generación Israel, Mariana, Herminio, Salvador y César.

A mis compañeros del Campus Amazcala Alberto, Miguel, Jonathan y Brendita.

A todos mis maestros.

ÍNDICE

RESUMEN	II
ABSTRACT	V
DEDICATORIAS	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
ÍNDICE	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
2.1. Descripción del problema.....	5
2.2. Justificación.....	6
2.3. Objetivos	7
2.3.1. Objetivo general.....	7
2.3.2. Objetivos específicos.....	7
2.4. Hipótesis	7
III. REVISIÓN DE LITERATURA	8
3.1 Características generales de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	8
3.1.1 Origen.....	8
3.1.2 Morfología y taxonomía	8
3.1.3 Principales variedades.....	9
3.1.4 Características del cultivo.....	10
3.1.5 Condiciones climáticas y edáficas	11
3.1.5.1 Temperatura.....	12

3.1.5.2	Humedad Relativa	12
3.1.5.3	Suelo	12
3.1.6	Principales plagas y enfermedades	12
3.1.6.1	Principales plagas en lechuga	13
3.1.6.2	Principales enfermedades en lechuga.....	14
3.1.7	Manejo post-cosecha.....	16
3.1.8	Calidad y valor nutricional.....	16
3.2	Fertilización Orgánica.....	18
3.2.1	La fertilización.....	18
3.2.2	Residuos orgánicos en la agricultura	18
3.2.2.1	Clasificación	19
3.2.3	El compostaje	20
3.2.3.1	Agentes de la descomposición.....	21
3.2.4	Preparación y uso de téis orgánicos.....	22
3.3	Los NO ₃ ⁻ en la lechuga.....	25
3.3.1	El papel del N en las plantas	25
3.3.2	Los NO ₃ ⁻ y su absorción en vegetales	26
3.3.2.1	Factores que intervienen en la acumulación de NO ₃ ⁻	28
3.3.3	Legislación de consumo de NO ₃ ⁻	30
3.3.3.1	Toxicidad	30
3.3.3.2	Límites permitidos e ingesta diaria permisible	30
IV.	METODOLOGÍA.....	32
4.1	Área de estudio	32
4.1.1	Localización geográfica (Macrolocalización)	32
4.1.2	Condiciones ambientales.....	33

4.2	Características del invernadero.....	33
4.2.1	Estructura y extensión	33
4.2.2	Sistema de riego.....	33
4.3	Preparación del invernadero	34
4.4	Producción de plántula.....	34
4.5	Trasplante	36
4.6	Riego.....	37
4.7	Fertilización	37
4.7.1	Aplicación de vermicomposta	37
4.7.2	Preparación de téis orgánicos	38
4.7.3	Preparación de solución foliar química	39
4.7.4	Fertilización comercial	39
4.8	Acolchado orgánico.....	40
4.9	Control fitosanitario	40
4.10	Cosecha	41
4.11	Variables evaluadas.....	41
4.11.1	Porcentaje de materia fresca y seca.....	41
4.11.2	Contenido evolutivo de NO_3^- para la determinación de la hora de cosecha	42
4.11.3	Contenido de NO_3^- respecto a la fertilización.....	42
V.	EXPERIMENTACIÓN	43
5.1	Diseño experimental.....	43
5.2	Análisis estadístico.....	45
5.3	Curva de calibración.....	45
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46

6.1	Emergencia de plántula.....	46
6.2	Establecimiento de la hora de cosecha.....	46
6.3	Contenido de NO ₃ ⁻ respecto a la fertilización.....	49
6.4	Curva de calibración.....	51
6.5	Porcentaje de materia seca y fresca.....	52
V.	CONCLUSIÓN.....	55
VI.	LITERATURA CITADA.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de lechuga.	1
Figura 2. Ubicación geográfica del municipio en la entidad (marcada en azul).	32
Figura 3. Invernadero utilizado para el cultivo de lechuga.	34
Figura 4. Arreglo de los tratamientos dentro del invernadero.	35
Figura 5. Plántula de lechuga recién emergida.	35
Figura 6. Plántula de lechuga a la primera semana de emergencia.	36
Figura 7. Plántula de lechuga lista para el trasplante (24 DDS)	36
Figura 8. Trasplante de plántulas de lechuga a densidad de 5.05 plantas m ⁻²	37
Figura 9. Preparación de té en atomizadores para su aplicación foliar.	38
Figura 10. Acolchado orgánico de paja de cebada en la zona de cultivo.	40
Figura 11. Descripción de los tratamientos con respecto a la fertilización.	44
Figura 12. a) Germinación de la semilla de lechuga en el primer día, b) estado de la plántula a la segunda semana de germinación con la primera hoja verdadera.	46
Figura 13. Gráfica representativa de la primera medición del contenido de NO ₃ ⁻ a los 48 días.	47
Figura 14. Gráfica representativa de la segunda medición del contenido de NO ₃ ⁻ a los 63 días.	48
Figura 15. Contenido de NO ₃ ⁻ en la cosecha de la lechuga. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Prueba de Tukey al 95%.	50
Figura 16. Curva de calibración del equipo Compact NO ₃ ⁻ Meter TwinNO ₃ ⁻ Modelo B-343, Marca HORIBA, Ltd.	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Fases de desarrollo de la lechuga.-----	10
Tabla II. Principales plagas en el cultivo de lechuga. -----	13
Tabla III. Principales enfermedades en la lechuga. -----	14
Tabla IV. Valor nutricional de lechuga por cada 100 g de tejido. -----	17
Tabla V. Rangos óptimos de microorganismos en composta y té de composta (Ingham, 2005).-----	23
Tabla VI. Máximos contenidos de NO_3^- , regulados por the European Economic Community.-----	31
Tabla VII. Ppm contempladas por elemento según Steiner (1984). -----	39
Tabla VIII. Descripción de los tratamientos. -----	43
Tabla IX. ANOVA del contenido de NO_3^- en las 13 fertilizaciones. -----	49
Tabla X. Contenido final promedio de NO_3^- en los tratamientos.-----	50
Tabla XI. Parámetros resultado de la curva de calibración.-----	52
Tabla XII. Porcentaje de materia seca y fresca respecto a los tratamientos. -----	53

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la producción de hortalizas de porte bajo como la lechuga (*Lactuca sativa* L.) se ha incrementado conforme la necesidad del ser humano lo requiere, de tal forma que se han implementado medidas tecnológicas en donde se incrementa la producción pero al mismo tiempo se reduce el espacio, el consumo de agua y otros insumos utilizados para producirlas; la alta y creciente demanda de esta hortaliza ha propiciado una alza en la producción a nivel global, según datos de la FAOSTAT (2012), China es el principal productor con 8.42 millones de t; en tanto México está ubicado en décimo lugar con 228.381 miles de t (Figura 1).

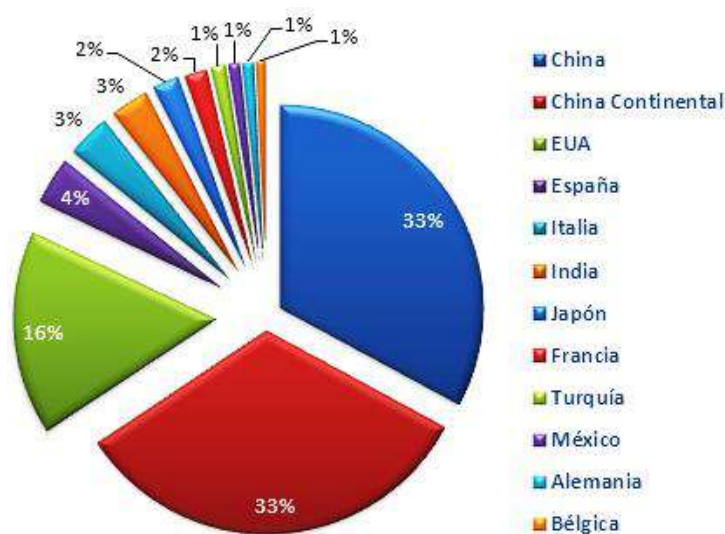


Figura 1. Producción mundial de lechuga. **Fuente:** FAOSTAT, 2012.

El incremento de la producción es debido a las condiciones que se le someten al cultivo, uno de los factores determinantes que influyen en el rendimiento es la nutrición, donde elementos como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Boro (B) y Molibdeno (Mo) principalmente, juegan un rol en el metabolismo de la planta; específicamente para especies como la lechuga (Pavlou *et al.*, 2006); el N en forma de nitratos (NO_3^-) que interviene en la

síntesis de proteínas y forma parte de los ácidos nucleicos, tiende a acumularse en las hojas cuando la absorción excede a la reducción (Antón & Lizaso, 2001), las consecuencias de la acumulación de este compuesto propicia que al ser ingerido pueda causar problemas en la salud de los consumidores, donde desde un punto de vista toxicológico, el NO_3^- no es una sustancia peligrosa, el problema se produce cuando es reducido a nitrito (NO_2^-) por enzimas segregadas de bacterias presentes en la saliva humana (Pavlou *et al.*, 2006; Bertrand *et al.*, 2011; Antón & Lizaso, 2001).

Los principales factores que determinan la acumulación de NO_3^- son la radiación, la temperatura, la variedad genética, la actividad enzimática de la Nitrato Reductasa (NR) y la nutrición (Salinas, 2010; Campbell, 1999; Carrasco *et al.*, 2006); siendo la fertilización uno de los principales pues depende directamente de la forma en que se encuentre el N y en qué cantidad sea aplicado, en relación con la formulación del nitrógeno del fertilizante, las formas nítricas inducen una mayor concentración, dichos efectos disminuyen cuando en la formulación están presentes formas amoniacales, principalmente en las dos últimas semanas antes de la recolección (Pavlou *et al.*, 2006; Carrasco *et al.*, 2006).

El uso de fertilizantes de origen orgánico (FO) en la producción de lechuga demuestra una acumulación menor de NO_3^- comparada con la aplicación de fertilizantes químicos (FQ) (Tarigo *et al.*, 2004), pues la forma en que se encuentra el N es muy variable en los fertilizantes de origen orgánico, ya que puede estar presente en forma tanto nítrica como amoniacal ejerciendo un trabajo adicional por diversos organismos como bacterias, hongos, lombrices, etc., para que hagan disponible el N y pueda ser absorbido por la planta (Tosun & Utsun, 2004), además que en su caso el contenido de ciertos elementos como el Sodio (Na), Fe y Mo (que pueden estar incluidos en los FO) influyen en la actividad enzimática de la NR pues funcionan como cofactores (Campbell, 1999; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007; Raigón *et al.*, 2006), los cuales son moléculas de origen no proteico que forman parte de la estructura de la enzima y son indispensables para las reacciones enzimáticas que se ejerzan dentro de la planta.

Los FO están integrados en un sistema de producción sustentable de alimentos que usualmente se conoce como Agricultura Orgánica que de acuerdo al Codex Alimentarius de la FAO (2012), es un sistema de manejo de producción alimentaria que promueve y mejora la salud del ecosistema, incluyendo los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, basándose en el uso mínimo de insumos externos y evitando los fertilizantes y plaguicidas sintéticos.

La producción orgánica de alimentos se ha realizado desde hace miles de años, y fueron utilizados fertilizantes basados en insumos provenientes de desechos animales (estiércoles), vegetales (rastros, abonos verdes, etc.) y minerales (extraídos de rocas que los contenían) (Bertrand *et al.*, 2011) para la nutrición de cultivos. La diversidad de FO que se pueden elaborar son muy extensas, los más comúnmente usados son: la composta, el humus de lombriz y sus lixiviados, abonos orgánicos fermentados, estiércol animal (vacuno, equino, porcino, ovino, etc.), biofertilizantes (micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno), caldos minerales, harina de rocas, abonos verdes, etc. (Restrepo, 2007). Algunas de las principales características benéficas que aportan los FO son: el alto contenido de materia orgánica (Hernández *et al.*, 2010), el incremento de la actividad biológica del suelo (Restrepo, 2007), liberación de macro y micronutrientes, favoreciendo de forma directa la textura del suelo (Figuroa *et al.*, 2008), el desarrollo de la cubierta vegetal y el mantenimiento de la productividad de los suelos (Parr *et al.*, 1983).

Estudios realizados por Hernández *et al.*, (2010), indicaron que el uso de composta y humus de lombriz a partir de estiércol bovino implementó mejoras en las características fisicoquímicas en el suelo y así lograr una reducción del uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos. Los resultados mostraron que el contenido nutricional del N foliar en plantas de lechuga tratadas con composta y humus de lombriz no tuvieron diferencias significativas respecto a la aportación equivalente del fertilizante nitrogenado inorgánico. Se observaron diferencias en el contenido de Ca, Mg, Zn y Mn foliar en las diferentes técnicas de fertilización, se obtuvieron las mejores condiciones de materia orgánica y en la concentración de

macronutrientes en los suelos con fertilización a base de humus de lombriz y composta.

El cultivo lechuga requiere de un buen desarrollo radicular. La lechuga es un planta con raíces densas que pueden crecer 2 cm diarios y alcanzar profundidades de 1 m. Gallardo *et al.*, (1996), encontraron que la mayor parte de las raíces de la planta se concentran en los primeros 15 cm de profundidad aunque según pueden llegar hasta los 60 cm. La oxigenación es de gran importancia en el cultivo, ya que la raíz debe desarrollarse en un medio sólido y debe tener la cantidad de oxígeno necesario para evitar que se produzca asfixia radicular. El hecho de incorporar FO al suelo puede promover además un mejor medio para el desarrollo radicular. Según Hernández (2010) la agregación de FO proporciona una mejor textura aumentando el contenido de poros, los cuales pueden contener oxígeno disponible para la planta favoreciendo el crecimiento radicular. De tal manera que es altamente recomendable incorporar FO en la nutrición de cultivos, estos fertilizantes promueven ventajas en la producción de alimentos, ejerciendo una mejora en la calidad del producto cosechado y el cuidado ambiental.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

Se han realizado estudios de hortalizas de hoja y más específicamente de lechuga, donde se menciona que esta hortaliza contiene cierta cantidad de nitratos (NO_3^-) en las hojas que dependen directamente de las prácticas de fertilización que se realicen y de factores climáticos, siendo sustancias que pueden propiciar riesgos a la salud si son ingeridas en altas cantidades (Carrasco *et al.*, 2006; Antón & Lizaso, 2001; Valverde *et al.*, 2009). Los NO_3^- propiamente son relativamente poco tóxicos; su reducción a nitritos (NO_2^-) por acción de microorganismos ocurrida en el organismo, es lo que se debe tomar más en consideración, ya que altas concentraciones de estas sustancias dan lugar a enfermedades como la metahemoglobinemia, una enfermedad respiratoria presentada principalmente en infantes, que produce pérdida de capacidad de transporte de oxígeno en el torrente sanguíneo, conduciendo a síntomas de asfixia y coloración azul en la piel (Diario Oficial De La Comunidades Europeas, 2002). Además, como efecto a largo plazo los NO_2^- reaccionan con las aminas presentes en el cuerpo, originando nitrosaminas, compuestos conocidos por su acción cancerígena, asimismo, se les relaciona con una disminución de la reserva de vitaminas A, B y carotenos en el hígado (Rodríguez, 2012).

Actualmente se tiene además una acumulación excesiva de residuos orgánicos que favorece a una alteración y destrucción del medio ambiente, debido a que emiten diversas cantidades de sustancias, como el lixiviado de compuestos de un pH bajo que acidifican las capas del subsuelo, contienen elementos como el sodio (Na^+) que contribuye a una mayor salinización del suelo, el contacto con el estiércol aumenta el riesgo a contraer enfermedades infecciosas y su acumulación excesiva libera gases de efecto invernadero como el anhídrido carbónico (CO_2), metano (CH_4) y vapor de agua. El no reciclar los residuos orgánicos no es sólo el único factor propiciado por la intervención del hombre que perjudica los ciclos biológicos de la tierra, si no que a través de la implementación de “mejoras” en la

actividad agrícola, la contaminación del suelo y el aire es realizada a partir de la aplicación de productos sintéticos como fertilizantes y plaguicidas con base química, que involucran riesgos a la salud humana.

2.2. Justificación

Es necesario obtener dentro del rango permisible la cantidad de NO_3^- que puedan llegar a acumularse en el cultivo de lechuga a partir de la fertilización usada, con el fin de asegurar alimentos de mayor calidad e inocuidad, evitando así problemas de intoxicación y salud en personas que las consumen frecuentemente, de tal manera que se pretenda reducir la presencia de sustancias cancerígenas como las nitrosaminas y enfermedades respiratorias como la metahemoglobinemia, asimismo, reducir el impacto ambiental que se propicia al aplicar fertilización en exceso, evitando la contaminación de recursos naturales como el agua y el suelo.

Por otra parte, con la aplicación de una fertilización orgánica correcta, se proporcionan beneficios al suelo, ya que pueden proveer una múltiple variedad de macro y micronutrientes, gran diversidad de microorganismos benéficos y gran cantidad de materia orgánica, regulación de parámetros como el pH, aireación y retención de agua, los cuales son factores de gran importancia en cuanto a la producción de cultivos se refiere, además se puede evitar el contacto con sustancias químicas que pueden ser tóxicas y que están contenidas habitualmente algunos insumos usados para la agricultura convencional, asimismo, reducir el impacto ambiental por la acumulación excesiva y el no reciclaje de residuos orgánicos, con los cuales pueden ser producidos fertilizantes de alta calidad y obtener los beneficios mencionados.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general

Determinar el efecto de diferentes fertilizaciones orgánicas y químicas sobre el contenido de NO_3^- y el crecimiento en lechuga (*Lactuca sativa* L. Var. Vulcán) bajo condiciones protegidas.

2.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar la incidencia de la dosis de fertilizante en un cultivo de lechuga sobre la calidad del producto de acuerdo a la fertilización aplicada.
2. Describir el contenido de NO_3^- en lechuga a partir de la fertilización usada.
3. Establecer el tipo de fertilización (dentro de las empleadas) más efectiva para el cultivo de lechuga que proporcione mayor calidad y menor contenido de NO_3^- .

2.4. Hipótesis

Las fertilizaciones orgánicas foliares, en combinación con la vermicomposta sólida, producen menor concentración de nitratos en la hoja y mayor calidad con respecto a las fertilizaciones químicas en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L., Var. Vulcán) bajo condiciones protegidas.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Características generales de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)

3.1.1 Origen

El origen de esta hortaliza no está bien definido, pero se ha mencionado que proviene de oriente y más específicamente de la India, donde se han encontrado plantas clasificadas con características muy similares pero que son catalogadas como malezas como lo es *Lactuca serriola* L., a diferencia de (Maroto, 2000) que mencionan que su procedencia es de la cuenca del Mediterráneo, pero el cultivo de estas especies se ha difundido por el centro y sur de Europa, así como en la región sur de Rusia. Se tienen datos de que el cultivo de la lechuga ha sido desarrollado desde hace más de 2 000 años por culturas como la griega y la romana, además de que ya es considerada como una planta nativa de Europa y Asia. El nombre latino de la lechuga (*Lactuca sativa* L.), se deriva de la raíz *Lac*, que significa “leche” y *sativa* “cultivada” (Chiesa, 2010).

3.1.2 Morfología y taxonomía

La lechuga es considerada como una planta herbácea anual de ciclo corto, donde sus hojas son de una forma ovoide irregular, de constitución lisa y sésil, de colores que van desde el verde, verde-oscuro, verde-amarillo, rojo y hasta morado, lo cual depende de la variedad genética; y que están acomodadas en forma de roseta que pueden o no formar un cogollo. El sistema radicular está provisto de una raíz pivotante que crece hasta 2 cm diarios, con una longitud variable que puede ir desde los 25 cm y hasta alcanzar profundidades de 1 m, pero que a los primeros 15 cm se concentran la mayoría (Gallardo *et al.*, 1996; Maroto, 2000), y además tiene una fácil regeneración lo cual la hace más resistente al trasplante. El tallo es muy corto cuando la planta es cosechada, sin embargo puede llegar a ramificarse cuando se encuentra en fase de floración y llegar a medir hasta 1.25 m. Los frutos son aquenios de color blanco-crema, con una longitud de 2-4 mm.

A continuación se describe su clasificación taxonómica (Maroto, 2000):

Orden: Asterales Link

Familia: Asteraceae Bercht. & J. Presl

Tribu: Lactuceae

Género: *Lactuca*

Especie: *sativa* L.

Variedad: Vulcán

Nombre común: Lechuga sangría o vulcán.

3.1.3 Principales variedades

La lechuga es la hortaliza más importante del grupo de los vegetales de hoja que se comen crudos, debido a esto se tiene una amplia gama de variedades que se pueden comercializar (SAGARPA-SIAP, 2012), las cuales se clasifican de la siguiente manera:

1. Romanas (*Lactuca sativa* L. var. Longifolia): la planta desarrolla hojas grandes, erguidas, oblongas y obovadas, de 20 a 30 cm de largo y 6 a 10 cm de ancho, con nervadura prominente, superficie ligeramente ondulada, y borde irregularmente denticulado. A esta categoría pertenecen las lechugas tipo Romana, Baby, Cogollos, Little Gem y Mini Romanas.
2. Acogolladas (*Lactuca sativa* var. Capitata): presentan hojas lisas, orbiculares, anchas, sinuosas y de textura suave o mantecosa; las hojas más internas forman un cogollo amarillento al envolver las más nuevas. En general, esta variedad comprende cultivares de menor tamaño de planta y de ciclo vegetativo más corto (55 a 70 días) que las otras variedades, por lo que en algunos países son los más usados para la producción en

invernadero. Iceberg, Mantecosa o Trocadero y Batavia son variedades que pertenecen a esta clasificación.

3. De hojas sueltas (*Lactuca sativa* L. var. Inybasea): son lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas. Desarrollan una roseta muy tupida de hojas libres. En la antigüedad sólo se recolectaban sus hojas sueltas por lo que se sembraba a gran densidad, actualmente ya es vendida como planta completa. Las más cultivadas son Grand Rapids, Lollo Rossa, Salad Bowl, Simpson y Red Sails.

3.1.4 Características del cultivo

Las plantas de lechuga pasan por cuatro fases de crecimiento: desarrollo de la plántula, periodo de roseta, formación de cogollo y floración. El desarrollo de la plántula comienza con la germinación, en donde factores como la temperatura son de gran importancia, la emergencia de la plántula se inhibe cuando la semilla es sometida a temperaturas por encima de los 30 °C, la temperatura óptima es de 18 – 21 °C. La emergencia tiene lugar de 3-7 días después de la siembra (dds), dependiendo de las temperaturas. El tiempo de recolección o cosecha depende de la variedad a cultivar pero se tienen intervalos de tiempo de 60 a 80 días después del trasplante (ddt). La descripción de todas las fases de desarrollo del cultivo se describen en la Tabla I.

Tabla I. Fases de desarrollo de la lechuga.

Fase	Descripción
Desarrollo de plántula	Emergencia de la radícula Aparición de los cotiledones Crecimiento radicular a profundidad Desarrollo de 3 – 4 hojas verdaderas

Periodo de roseta	Disminución de la relación largo - ancho de folíolos Acortamiento de los pecíolos Formación de roseta con 12 a 14 hojas
Formación de cogollo	Hojas más anchas que largas, curvadas por el eje de la nervadura central y en posición erecta
Floración	La cabeza pierde calidad adquiere forma alargada Elongación del tallo. Emisión de las inflorescencias. Producción de semilla a través de una flor terminal que abre de 12 – 14 días.

3.1.5 Condiciones climáticas y edáficas

La lechuga se desarrolla a una altitud de 1-2200 m.s.n.m., son plantas que se adaptan a climas templados principalmente, aunque también prosperan en climas cálidos y fríos. Ésta hortaliza se presenta en gran número de variedades conocidas tanto en primavera como en verano, otoño e invierno, por lo que se puede cultivar en cualquier clima y época del año (Hernández *et al.*, 2010; FAO, 2013).

3.1.5.1 Temperatura

Los rangos óptimos de temperatura para el cultivo de lechuga durante su fase de crecimiento están entre los 15 – 18 °C por el día y de 5 – 8 °C por la noche, con temperaturas máximas de 21-24 °C y mínima de 7 °C.

3.1.5.2 Humedad Relativa

El tamaño del sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y se presenta estrés hídrico con un corto periodo de sequía. La humedad relativa óptima para el desarrollo de la lechuga es del 60 al 80%.

3.1.5.3 Suelo

El cultivo de lechuga se desarrolla adecuadamente en un amplio rango de tipos de suelo, pero para el establecimiento del cultivo se recomiendan aquellos que sean ricos en materia, con buena capacidad de retención de agua y un adecuado drenaje. El factor de mayor importancia en el crecimiento es el pH, pues a partir del intervalo de éste, se tendrán disponibles algunos nutrientes, situando el pH óptimo entre 6.7 y 7.4.

3.1.6 Principales plagas y enfermedades

Los daños causados por agresión de organismos pueden influir en el proceso de desarrollo del cultivo, y deteriorar directamente la calidad del producto final. Generalmente lo que se suele recomendar es el control preventivo, que incluye aspectos de sanitización con un monitoreo continuo del cultivo y así evitar la ocurrencia y ataque de plagas y enfermedades.

3.1.6.1 Principales plagas en lechuga

Las principales plagas que atacan al cultivo de la lechuga son Trips (*Frankliniella occidentalis*), gusanos minadores (*Liriomyza trifolii* y *Liriomyza huidobrensis*), mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) y pulgones (*Myzus persicae*, *Macrosiphum solani* y *Narsonovia ribisnigri*), las cuales se describen en la Tabla II.

Tabla II. Principales plagas en el cultivo de lechuga. Fuente: Davis *et al.*, (2002).

Plaga	Descripción
Trips (<i>Frankliniella occidentalis</i>)	Es la que causa mayor daño al cultivo, pues es transmisora del virus del bronceado del tomate (TSWV). La importancia de estos daños ocasionados por las picaduras depende del nivel poblacional del insecto.
Gusanos minadores (<i>Liriomyza trifolii</i> y <i>Liriomyza huidobrensis</i>)	Forman galerías en las hojas y si el ataque de la plaga es muy fuerte la planta queda debilitada.
Mosquita blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i>)	Produce una melaza que deteriora las hojas, dando lugar a una debilidad general de la planta, además es transmisor de virus.

<p>Pulgones (<i>Myzus persicae</i>, <i>Macrosiphum solani</i> y <i>Narsonovia ribisnigri</i>)</p>	<p>Su ataque sistemático suele ocurrir cuando el cultivo está próximo a la recolección, además pueden ser vector de virus. Colonizan las plantas desde las hojas exteriores y avanzando hasta el interior.</p>
---	--

3.1.6.2 Principales enfermedades en lechuga

Las principales enfermedades que se presentan en el cultivo de lechuga son antracnosis (*Marssonina panattoniana*), botritis (*Botrytis cinerea*), mildiu veloso (*Bremia lactucae*), esclerotinia (*Sclerotinia sclerotiorum*), virus del mosaico de la lechuga (LMV) y virus del bronceado del tomate (TSWV) y se describen en la Tabla III.

Tabla III. Principales enfermedades en la lechuga. Fuente: Davis et al., (2002).

Enfermedad	Descripción
<p>Antracnosis (<i>Marssonina panattoniana</i>)</p>	<p>Los daños se inician con lesiones de tamaño de punta de alfiler, éstas aumentan de tamaño hasta formar manchas angulosas-circulares, de color rojo oscuro, que llegan a tener un diámetro de hasta 4 cm.</p>
<p>Botritis (<i>Botrytis cinerea</i>)</p>	<p>Los síntomas comienzan en las hojas</p>

	<p>más viejas con unas manchas de aspecto húmedo que se tornan amarillas, y seguidamente se cubren de moho gris que genera enorme cantidad de esporas. Si la humedad relativa aumenta las plantas quedan cubiertas por un micelio blanco; pero si el ambiente está seco se produce una putrefacción de color pardo o negro.</p>
<p>Mildiu veloso (<i>Bremia lactucae</i>)</p>	<p>En el haz de las hojas aparecen unas manchas de un centímetro de diámetro, y en el envés aparece un micelio veloso; las manchas llegan a unirse unas con otras y se tornan de color pardo.</p>
<p>Esclerotinia (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>)</p>	<p>Se trata de una enfermedad por contacto con el suelo. Sobre la planta produce un marchitamiento lento en las hojas, iniciándose en las más viejas, y continúa hasta que toda la planta queda afectada. En el tallo aparece un micelio algodonoso que se extiende hacia arriba en el tallo principal.</p>
<p>Virus del mosaico de la lechuga (<i>LMV</i>)</p>	<p>Los síntomas producidos pueden</p>

	empezar incluso en semillero, presentando moteados y mosaicos verdosos que se van acentuando al crecer las plantas, dando lugar a una clorosis generalizada.
Virus del bronceado del tomate (<i>TSWV</i>)	Las infecciones causadas por este virus están caracterizadas por manchas foliares, inicialmente cloróticas, y posteriormente, necróticas e irregulares, a veces tan extensas que afectan a casi toda la planta.

3.1.7 Manejo post-cosecha

Después de recolectada la lechuga se puede someter a almacenamiento a una temperatura de 0°C y una humedad relativa no mayor del 95%. El enfriamiento por vacío es generalmente utilizado para la lechuga tipo Iceberg, sin embargo el enfriamiento por aire forzado también puede ser usado.

El daño por congelamiento puede ocurrir si la lechuga es almacenada a una temperatura menor de -0.2 °C. La apariencia del daño es un oscurecimiento translúcido, y se deteriora rápidamente. Además durante el almacenamiento puede presentarse la aparición de enfermedades bacterianas y fúngicas.

3.1.8 Calidad y valor nutricional

La calidad comprende la totalidad de los rasgos y características de un producto que guarda relación con la capacidad de satisfacer una necesidad determinada.

Es una combinación de las características, atributos y propiedades que le dan valor en la alimentación humana (USDA, 2013). La calidad de los productos hortícolas puede ser estudiada en función de cuatro componentes intrínsecos: higiénico sanitaria, nutricional, tecnológica y organoléptica (FAO, 2013).

Las hortalizas de hoja comprenden un grupo de especies de muy diverso origen, cuyo consumo aporta a la dieta fundamentalmente minerales y vitaminas. La lechuga es la especie aprovechable por sus hojas más importante a nivel mundial. Además contiene numerosas vitaminas y elementos minerales, y por su bajo aporte calórico es indispensable en cualquier régimen dietético (Tabla IV) (Sánchez, 2005).

Tabla IV. Valor nutricional de lechuga por cada 100 g de tejido. **Fuente:** www.nal.usda.gov

Compuesto	Cantidad
Agua	94 g
Carbohidratos	3.5 g
Proteínas	1.3 g
Grasas	0.3 g
Cenizas	0.9 g
Fibra	1.9 g
Calcio	68 mg
Hierro	1.4 mg
Fósforo	25 mg
Vitamina C	18 mg
Energía	18 kcal

3.2 Fertilización Orgánica

3.2.1 La fertilización

La producción de cultivos, un proceso directamente relacionado con el crecimiento, es una función del suelo, el clima, y las labores culturales realizadas (USDA, 2013), principalmente, y la manera en cómo estos factores influyen en la producción es a través de mecanismos muy diversos. Dado que los procesos involucrados en el crecimiento son numerosos, así también, son muchos los factores mediante los cuales son influenciados y controlados los distintos procesos. Como factores del crecimiento se consideran a todos aquellos agentes físicos, químicos y biológicos que pueden influenciar en el crecimiento de las plantas, desde la germinación hasta la cosecha.

De todos los factores que influyen sobre el crecimiento y producción de las plantas cultivadas, la fertilización, es una de los que pueden ser más determinantes; esta actividad categorizada como una disciplina de la fisiología vegetal y de la ciencia del suelo (Arancon *et al.*, 2005), se ocupa de estudiar los procesos involucrados en la absorción y asimilación de nutrimentos por las plantas, así como de los factores que los afectan y su relación con la producción y calidad de las cosechas (Barquero, 2002).

3.2.2 Residuos orgánicos en la agricultura

El ser humano a lo largo de la historia, ha realizado continuas aplicaciones de una amplia variedad de residuos de origen orgánico como una fuente de nutrientes para suplir la fertilización en suelos con cultivo; pero esta actividad se ha ido desplazando a partir de la gran difusión que tuvieron los fertilizantes sintéticos y las exigencias de sistemas de cultivo moderno. Liebig (1843) demostró con claridad que las plantas se nutren de agua y sustancias inorgánicas, siendo

principalmente N, P y K, pero a partir del desplazamiento progresivo del uso de los residuos y con ellos los abonos orgánicos, se presentaron problemas sobre el manejo de los desechos y residuos, convirtiéndose en un peligro ambiental que debía ser considerado. Sin embargo, todas las materias orgánicas siguen en realidad siendo una fuente de nutrientes y energía para el suelo.

Actualmente los residuos se han visto desde otra perspectiva, de tal forma que son considerados como recursos, que si son manejados y aprovechados de manera efectiva pueden proporcionar beneficios al suelo e indirectamente a la planta que esté cultivada (Bollo, 2003). Sin embargo en países desarrollados, caracterizados por tener una gran cantidad de habitantes, es en donde hay mayor índice de consumo de productos, y por lo tanto la cantidad de los residuos derivados de éstos es impresionante. (Pedreño *et al.*, 1995).

3.2.2.1 Clasificación

Los residuos se pueden clasificar en función del sector productivo que los origina, lo que nos permite establecer dos grandes grupos:

- a) Del sector primario: de actividades como la agricultura (rastros y resto de cosechas), ganadería (estiércoles de diversas fuentes) y silvicultura (resto de poda y sustratos).
- b) Del sector secundario y terciario: de actividades como la industria y las zonas urbanas (lodos de depuradoras de aguas residuales y residuos domésticos).

En general, se pueden considerar como materiales orgánicos aquellos procedentes de actividades como la agricultura, ganadería, rastros, residuos forestales, domésticos, lodos de depuradoras de aguas residuales, englobando también a los originados en las industrias agroalimentarias (Pedreño *et al.*, 1995);

de manera que la amplia gama de residuos de origen orgánico que pueden ser usados como recursos es amplia y por lo tanto también las características que presentan.

3.2.3 El compostaje

Por muchos años los desechos de las actividades humanas, representados en los diferentes sistemas productivos, han atentado contra la biodiversidad existente en el planeta (incluidos los seres humanos), debido al inmenso volumen con que se producen y a la gran carga contaminante que generan. La producción de residuos va en constante aumento en función del crecimiento demográfico y el problema entonces cada día es mayor. Para controlar y/o mitigar el aumento de residuos es necesario tomar medidas urgentes y así evitar su impacto degradante (Hutchison *et al.*, 2005).

Entre las medidas tomadas para dar soluciones a este problema está la búsqueda de nuevas alternativas de manejo de residuos. Según Restrepo (2007), una de las opciones de manejo que más se debe utilizar en el ámbito nacional e internacional es la tecnología del compostaje. Esta práctica permite disponer los residuos de origen orgánico (normalmente arrojados a basureros) para producir un fertilizante orgánico denominado composta y al incorporarlo al suelo permite mejorar las características del mismo para el desarrollo de especies vegetales y alimentos de origen más natural. El compost permite restablecer la vida del suelo favoreciendo el crecimiento microbiano a través de una mayor oxigenación y dar una mayor estabilidad al sistema suelo (Restrepo, 2007; Arancon *et al.*, 2005)

La composta es el producto que se obtiene de compuestos que forman o formaron parte de seres vivos en un conjunto de productos de origen animal y vegetal; constituye un “grado medio” de descomposición de la materia orgánica a diferencia del “humus” (Bollo, 2003), en el cual el grado de descomposición de la materia orgánica es de un grado superior. La materia orgánica puede

descomponerse por medio de dos vías: el compostaje o ciclo aeróbico (con alta presencia de oxígeno), y metanización o ciclo anaeróbico (con nula o muy poca presencia de oxígeno) (Ingham, 2005). La composta es obtenida por una reproducción masiva de bacterias aeróbicas termófilas presentes en cualquier lugar para posteriormente continuar con la fermentación con otras especies de bacterias y hongos.

3.2.3.1 Agentes de la descomposición

La preparación de montículos para el compostaje tiene como objetivo la generación de un entorno apropiado para el ecosistema de descomposición. El entorno no sólo mantiene a los agentes de la descomposición, sino también a otros que se alimentan de ellos. Los residuos de todos ellos pasan a formar parte de la composta.

Los agentes más efectivos de la descomposición son las bacterias y otros microorganismos. Los microorganismos eficientes (EM) son un conjunto de bacterias que producen a temperaturas favorables un aprovechamiento de los componentes de la materia a compostar para optimizar el proceso de compostaje, además se tiene presencia de hongos, protozoos y actinobacterias y actinomycetes (Restrepo, 2007; Tejada *et al.*, 2008). Además de agentes macroscópicos como lombrices, hormigas, caracoles, y diversos tipos de insectos en general colaboran en el proceso.

Dentro de los seres macroscópicos que ayudan en el proceso de compostaje están las lombrices, por medio de las cuales se puede obtener un mayor grado de descomposición de la materia orgánica, dando lugar a un producto conocido como humus, lombricomposta o vermicomposta. Bollo (2003) define el proceso de vermicompostaje como una biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica, y no sólo como una actividad que depende de la posibilidad de poder contar con estiércol animal, si no que pueden ser utilizados

materiales provenientes de residuos vegetales y aquellos que tengan facilidad de degradación. Del proceso de vermicomposteo se obtiene fertilizante orgánico el cual es llamado vermicomposta y puede utilizarse como fuente de nutrientes en la producción de cultivos (Tarigo *et al.*, 2004)

3.2.4 Preparación y uso de té orgánicos

La elaboración de té de composta o té orgánico data desde hace miles de años por diferentes culturas (Griegos, Egipcios y Mayas), pero sólo actualmente a través de procesos eficientes y controlados se ha logrado obtener soluciones biológicas de microorganismos aeróbicos pertenecientes a los insumos incorporados, siendo éstos los benéficos para el suelo (Ingham, 2005). El té de composta es un extracto acuoso de alta actividad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica del insumo orgánico compostado. Además, para estimular y favorecer el crecimiento de los microorganismos en el té, se agregan fuentes de nutrientes (a veces incluidos en el insumo utilizado), como residuos animales como el estiércol y vegetales como rastrojos, además de melaza, harina de pescado, extractos de algas marinas, polvo de roca, ácidos húmicos, entre otros.

El té de compost, correctamente elaborado y aplicado, provee un set de microorganismos benéficos, los que pueden ser aplicados al suelo o asperjados sobre el follaje del cultivo (Edwards *et al.*, 2006). Existe una confusión entre lixiviado y té de composta. El té de composta es un extracto biológico que se obtiene por una fermentación aeróbica de composta o humus (independientemente del insumo o residuo usado), el no oxigenar, no permitirá el desarrollo de microorganismos benéficos, he incluso una condición anaeróbica, puede producir ciertas sustancias nocivas para los microorganismos del suelo o las plantas (Restrepo, 2007). Por otro lado, los lixiviados son la escorrentía del agua que pasa a través de la composta y que funciona fundamentalmente como

una buena forma de aportar nutrientes solubles al suelo y planta, pero no de microorganismos.

Ingham (2005) indica que un buen té puede tener una diversidad tan alta como 25 000 tipos de microorganismos, lo que incluye principalmente bacterias, hongos, protozoos, nematodos, entre otros. Además, estableció estándares de calidad según la abundancia de microorganismos en la composta y en el té (Tabla V), destacando que un buen té pueden tener una cantidad de bacterias del orden de 10^{10} a 10^{11} individuos mL^{-1} . Para lograrlo, es fundamental proporcionar una concentración adecuada de oxígeno, el cual es alcanzado en un periodo de tiempo de 16 – 20 h desde el inicio de la operación y el cual no debiera tener una concentración menor de 5 ppm, así se asegura que los microorganismos generados se mantengan vivos y activos, logrando un producto de óptima calidad. Para favorecer la difusión de oxígeno al medio acuoso se debe fragmentar el flujo de aire en pequeñas burbujas y así también, controlar el exceso de turbulencia.

Tabla V. Rangos óptimos de microorganismos en composta y té de composta (Ingham, 2005).

Microorganismos	Compostas (por g seco)	Té de composta (por mL)
Bacterias activas (μg)	15 – 30	10 - 150
Bacterias totales (μg)	150 – 300	150 - 300
Hongos activos (μg)	2 -10	2 - 10
Hongos totales (μg)	150 – 200	2 - 20
Protozoos flagelados	10 000	1000

(N°)		
Protozoos amebiodes (N°)	10 000	1000
Protozoos ciliados (N°)	20 – 50	20 - 50
Nematodos benéficos (N°)	50 -100	2 - 10

El tiempo de preparación varía según la temperatura, normalmente son 24 horas, si la temperatura ambiente promedio está en rango de 20 - 25 °C. En primavera y otoño, con temperaturas más frescas, la preparación puede ser de 48 o hasta de 72 horas. No obstante, un período de preparación muy prolongado altera las relaciones adecuadas de microorganismos (Frederickson *et al.*, 2007). Cuando se realiza el té, los microorganismos comienzan a multiplicarse respecto al alimento disponible para ellos. Si el tiempo es excesivo las relaciones serán favorables a protozoos, perdiendo el beneficio entregado por las bacterias y hongos.

Para favorecer la velocidad de crecimiento microbiano se tiene que estabilizar la temperatura del agua, por lo que la solubilidad del oxígeno no debe decrecer y manejar un rango óptimo de 20 – 25 °C. Lo más importante en cuanto a calidad del té se refiere, es la cantidad de carga microbiana que contenga al inicio, además de la que se desarrolle durante el proceso, así mismo la disponibilidad de los nutrientes provenientes de los insumos que fueron transformados en el proceso de compostaje y de los cuales no se obtuvieron lixiviados, por lo cual es recomendable el uso de tés orgánicos o de compostas para la mejora de suelos a través de la adición de microorganismos y al mismo tiempo nutriendo a la planta por medio de los elementos contenidos aplicados ya sea al suelo o foliarmente (Ndegwa & Thompson, 2000; Ingham, 2005; Edwards *et al.*, 2006; Frederickson *et al.*, 2007).

3.3 Los NO_3^- en la lechuga

3.3.1 El papel del N en las plantas

El nitrógeno (N) es un elemento químico esencial para todos los seres vivos. Cerca del 98% del N de todo el mundo se encuentra en la rizósfera (capa superficial de la corteza terrestre en donde se desarrolla vida) dentro de la estructura química de la tierra y las rocas (Antón & Lizaso, 2001). El resto del N se encuentra en movimiento en un ciclo dinámico entre la atmósfera, reservorios de agua, plantas y animales. El N molecular (N_2) es una forma en la cual está representado el N y constituye el 78% de la atmósfera, siendo ésta muy estable, pero para ser convertida a otros compuestos químicos y sean aprovechados por las plantas requiere de una cantidad considerable de energía, la cual es suministrada por los relámpagos en las tormentas, haciendo que el N y el oxígeno del aire reaccionen para dar lugar a oxidaciones del N, y así obtener compuestos que son más fácilmente asimilables por las plantas (Bertrand *et al.*, 2011).

La asimilación del N requiere una serie compleja de reacciones bioquímicas con un alto costo energético. En cuanto a la asimilación del nitrato (NO_3^-) por las plantas, el N es reducido a nitrito (NO_2^-), posteriormente a amonio (NH_4^+) y finalmente en nitrógeno amídico en la glutamina, con un costo energético de 12 ATP por molécula de N. Por otra parte, existen otro tipo de plantas que recurren a otro proceso adicional para la asimilación de N, como las leguminosas que presentan una forma simbiótica con bacterias, donde transforman el N_2 en NH_4^+ ; y el gasto energético es aún mayor (16 ATP por molécula de N) (Campbell, 1999; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007).

La mayoría de los compuestos presentes en las células vegetales contienen N y son de vital importancia para el desarrollo de la planta, donde ejercen procesos fundamentales para el desarrollo celular (estructural y metabólico) como por ejemplo: la síntesis de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos (bases

nitrogenadas), aminas y clorofilas. La mayoría de los ecosistemas naturales y agrícolas, al ser fertilizados con nitrógeno inorgánico, muestran importantes incrementos en la productividad, poniendo en evidencia la importancia de este elemento en el desarrollo de los cultivos.

3.3.2 *Los NO_3^- y su absorción en vegetales*

Los nitratos (NO_3^-) son la forma asimilable del N por las plantas, los cuales son provenientes de la fertilización mineral y de la mineralización de la materia orgánica del suelo o incorporada a los cultivos. El NO_3^- se encuentra libre en la solución del suelo y puede ser utilizado directamente por las plantas y microorganismos edáficos, aunque también puede ser arrastrado hacia los horizontes profundos del suelo por las aguas de lluvia o de riego (Carrasco *et al.*, 2006). Este arrastre depende de la intensidad de las lluvias, del sistema de riego y volumen incorporado y de la capacidad de retención de humedad del suelo, entre otros factores. Además, los NO_3^- lixiviados están en función de su concentración en la solución del suelo a lo largo del perfil y de la capacidad de los sistemas radiculares para absorberlos antes que escapen de su zona de influencia (Escalona *et al.*, 2009).

La absorción de NO_3^- está sujeta a una regulación positiva (de inducción) y negativa. La última depende del nivel de N de la planta. Se ha sido sugerido que el ciclo de los aminoácidos en la síntesis de proteínas entre los tallos y las raíces sirve para proveer la información necesaria respecto del nivel de N en la planta, que le permite a las raíces regular la absorción de N (Escalona *et al.*, 2009). El transporte de NO_3^- al citoplasma a través del plasmalema, proceso termodinámicamente desfavorable, tanto en términos de gradiente de potencial eléctrico (interior negativo) y un gradiente de potencial químico (Campbell, 1999; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007). La absorción del NO_3^- en las plantas está influida al menos por tres sistemas de transporte que coexisten en las membranas plasmáticas de las células radicales. Estos sistemas pueden ser divididos en dos

clases, referidos como sistemas de transporte de alta (STAA aproximadamente 100 μmol) y baja afinidad (STBA > 0.2mmol) por el NO_3^- .

Las plantas asimilan la mayor parte del nitrato absorbido por sus raíces en compuestos orgánicos nitrogenados. La primera etapa de este proceso es la reducción de nitrato a nitrito en el citoplasma. La enzima nitrato reductasa (NR) cataliza la siguiente reacción:



$$\Delta G = - 34.2 \text{ kcal/mol}; \Delta E = 0.74 \text{ voltios}$$

En la ecuación se observa un gran cambio de energía libre bajo condiciones estándar, siendo una reacción irreversible.

La NR cataliza el primer paso de la asimilación del NO_3^- , por lo cual es el proceso que limita la adquisición de N en la mayoría de los casos, siendo la NR regulada por el contenido de NO_3^- en la hoja, la luz, la fertilización entre otros factores. El NO_3^- es reducido a nitrito (NO_2^-), y a su vez el NO_2^- es reducido a amonio (NH_4^+) por la enzima nitrito reductasa (NiR), la cual con ayuda de una molécula de ATP y glutamato da lugar a la glutamina, una vez asimilado el N en glutamina y glutamato, es incorporado en otros aminoácidos por reacciones de transaminación para ser utilizados en los procesos celulares (Campbell, 1999; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007).

Las dos enzimas NR y NiR actúan en serie, por lo que no se producen acumulaciones apreciables de NO_2^- . En tanto, si la velocidad de absorción es superior a la de transformación se acumulará NO_3^- en los tejidos vegetales. Los NO_3^- y NO_2^- sin ser tóxicos por sí mismos, pueden constituir un riesgo para la salud cuando son ingeridos con los alimentos o en el agua de consumo. Los NO_3^-

pueden ingresar al organismo a través de frutas y principalmente hortalizas de hoja y agua de consumo alimenticio (Morozkina & Zvyagilskaya, 2007).

3.3.2.1 Factores que intervienen en la acumulación de NO_3^-

Diversos estudios han demostrado que el aumento de la intensidad luminosa, o el tiempo de exposición, aumentan el contenido de NO_3^- acumulado. El efecto de la temperatura sobre la acumulación de NO_3^- está muchas veces oculto por la radiación, puesto que el aumento de la radiación incidente sobre el cultivo suele conllevar un incremento de su temperatura. Salinas (2010), Carrasco *et al.*, (2006) y Escalona *et al.*, (2009) demuestran que un aumento de la temperatura ambiental provoca un mayor contenido de NO_3^- en hortalizas de hoja, ya que disminuye la tasa de síntesis de proteínas provocando un aumento en la disponibilidad de NO_3^- susceptible de acumularse en las vacuolas.

Las hortalizas de hoja acumulan más NO_3^- a diferencia de las de fruto o raíz. A su vez, dentro de cada planta la acumulación no es uniforme; por ejemplo, la lechuga los concentra más en las hojas exteriores, mientras que la espinaca y la acelga, en el pecíolo. También se ha constatado que los órganos viejos presentan mayor contenido que aquellos jóvenes de la misma planta. Además, existen grandes variaciones internas y externas específicas en la acumulación de NO_3^- (Campbell, 1999; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007). La fertilización nitrogenada es uno de los factores más importantes en la acumulación de NO_3^- en hortalizas de hoja. La cantidad y la fuente o especie química en que el N está disponible para la planta afecta decididamente la cantidad de NO_3^- acumulado.

Las hortalizas de hoja como la lechuga tienden a acumular las mayores concentraciones de NO_3^- . Un gran número de investigaciones realizadas sobre hortalizas de hoja citan contenidos de nitratos que oscilan entre 1000 ppm y más de 3000 ppm sobre peso fresco, dependiendo directamente la técnica de cultivo

empleada, la fertilización y la variedad genética (DIARIO OFICIAL DE LA COMUNIDADES EUROPEAS, 2002).

Una de las principales razones por las cuales el contenido de NO_3^- es muy variable y dependiente, es la fertilización utilizada, pues radica directamente en su asimilación del elemento por la planta, por lo cual en cuanto a fertilización está directamente relacionado a factores como:

- Tipo de fertilización usada (química u orgánica)
- Intervalo de aplicación del fertilizante
- Dosificación
- Formulación con otros compuestos

La fertilización en los cultivos es de muy alta importancia, pues proveen a la planta de aquellos nutrientes esenciales para la regulación de actividades metabólicas y estructurales; en cuanto a los tipos de fertilizantes, existen formulaciones ya preestablecidas calculadas en base al requerimiento del cultivo, también llamadas convencionales o químicas donde difiere el empleo de ellos respecto a la técnica del cultivo y sus requerimientos, para lo cual existen diversas fuentes nitrogenadas (urea, nitrato de amonio, nitrato de calcio, fosfato monoamónico, etc.); existen además aquellas preparaciones de fertilizantes a partir de residuos de origen orgánico, donde el contenido nutrimental y forma disponible de los elementos es muy variable, pero generalmente el N se encuentra tanto en forma nítrica (NO_3^-) como en amoniacal (NH_4^+), por lo que propicia en cuanto al contenido de NO_3^- en lechuga una menor cantidad en comparación con las fertilizadas convencionalmente (Campbell, 1999; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007; Ortiz, 2013).

3.3.3 Legislación de consumo de NO_3^-

3.3.3.1 Toxicidad

El NO_3^- puede reducirse a NO_2^- mediante la acción bacteriana, tanto en los alimentos, durante el procesado y almacenamiento, como en el propio organismo humano en la saliva y en el tracto gastrointestinal. Aproximadamente un 5 % del NO_3^- ingerido se transforma en NO_2^- en forma endógena. Cuando el pH del jugo gástrico es elevado, caso común en lactantes, puede producirse un sobre poblamiento bacteriano y en consecuencia mayor transformación intestinal de nitratos en nitritos; el Fe^{2+} de la hemoglobina se oxida a Fe^{3+} produciendo metahemoglobinemia, con la consiguiente pérdida de capacidad de transporte de oxígeno. Ésto conduce a síntomas de asfixia y coloración azulada de la piel y mucosas de los bebés, con graves consecuencias si no se actúa en forma rápida y eficiente.

En cuanto a los efectos a largo plazo, el consumo continuado de elevadas cantidades de NO_3^- podría ocasionar que una vez formados los NO_2^- , reaccionarían con las aminas presentes en el organismo originando las nitrosaminas, compuestos conocidos por su relación con la aparición de diversos tipos de cáncer en el organismo. Asimismo, se lo relaciona con una disminución de la reserva hepática de vitaminas A, B y carotenos.

3.3.3.2 Límites permitidos e ingesta diaria permisible

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido una Ingesta Diaria Admisble (IDA) de 5 mg kg^{-1} de NO_3^- de peso corporal, lo que equivale a 350 mg día^{-1} para una persona de 70 kg, mientras que para nitrito la IDA fue fijada en 0.6 mg kg^{-1} de peso corporal. La comunidad económica Europea ha establecido contenidos máximos y mínimos de NO_3^- en el cultivo de lechuga bajo condiciones

de invernadero y sin condiciones de invernadero en las estaciones del año (Tabla VI).

Tabla VI. Máximos contenidos de NO_3^- , regulados por the European Economic Community.

Hortaliza	Periodo de cosecha	ppm
<i>Lactuca sativa</i> L.	1 octubre – 31 marzo	
	Invernadero	4500
	Sin invernadero	4000
	1 de abril - 30 de septiembre	
	Invernadero	3500
	Sin invernadero	2500

IV. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

4.1.1 Localización geográfica (Macrolocalización)

El experimento de investigación estuvo situado en el municipio de Amealco de Bonfil, siendo uno de los 18 municipios del estado de Querétaro, en México. Su cabecera es la población de Amealco. El experimento se realizó de enero a junio de 2014 en un invernadero de la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amealco.

El municipio se localiza al extremo sur del estado (Figura 2). Limita con los municipios de San Juan del Río al noreste y con Huimilpan al noroeste, y con los estados de México al sureste y Michoacán al suroeste. Mide 682 km². Su cabecera está a 20° 11' 12" Norte y 100° 08' 41" Oeste. A una altitud de 2 629 m.s.n.m. Según el INEGI (2010) el municipio tiene una población total de 62 197 habitantes, con una población total hombres de 29 842 y una población total de mujeres de 32 355.



Figura 2. Ubicación geográfica del municipio en la entidad (marcada en azul).

4.1.2 Condiciones ambientales

La temperatura promedio mensual en el municipio oscila, entre 10°C para los meses de diciembre y enero que son los más fríos del año y 25°C para el mes de mayo que registra las temperaturas más altas. La estación meteorológica de Amealco de Bonfil ha registrado una temperatura promedio anual de aproximadamente 14.6° C.

La precipitación anual en el municipio, el nivel observado es de 836.5 mm, siendo los meses de junio y agosto los de mayor precipitación y los de febrero y diciembre los de menor.

El municipio presenta un clima sub-húmedo con lluvias en verano, de humedad media en la mayor parte de la superficie municipal (98.82%) generalmente se cataloga con un clima no extremoso, templado y saludable.¹

4.2 Características del invernadero

4.2.1 Estructura y extensión

El invernadero fue de tipo cenital, con una cubierta plástica de polietileno de 800 galgas en espesor; la estructura fue de PTR de 1.5” (Figura 3). Está orientado de Norte a Sur con ventilación lateral y cenital, que es cubierta por malla antiáfidos. El invernadero tiene una superficie de 50 m² (8.6 m x 5.8 m) con una altura de 5 m.

4.2.2 Sistema de riego

El sistema de riego fue manual, con la ayuda de una regadera de 10 L. Se contó con un tinaco de 2 500 L de capacidad para el almacenamiento y suministro de

¹Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (México).

agua a las plantas experimentales, y un tambo de 150 L donde se preparaba la solución nutritiva para el tratamiento testigo.



Figura 3. Invernadero utilizado para el cultivo de lechuga.

4.3 Preparación del invernadero

Las instalaciones del invernadero se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio a una concentración de 10 mL L^{-1} de agua, aplicando de manera uniforme sobre la superficie del invernadero. El arreglo de los tratamientos dentro del invernadero fue de 4 camas de 0.4 m de ancho por 7.3 m de largo cada una, a una altura de 0.3 m, con una distancia de 0.6 m entre líneas. En cada cama se tuvo un arreglo de 13 bloques de 0.4 m de ancho por 0.5 m de largo (Figura 4).

4.4 Producción de plántula

Se utilizaron semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de la variedad Vulcán de polinización abierta, teniendo un estimado de 260 plántulas para todos los tratamientos. Los almácigos empleados fueron de 50 cavidades previamente

desinfectados con cuaternario de amonio (2%) para prevenir fisiopatías y evitar la presencia de plagas y enfermedades, posteriormente se llenaron con sustrato peat moss (70%) y vermicomposta (30%) para después se recubiertos con vermiculita. Los almácigos se cubrieron con plástico de color negro durante 3 días para promover de manera más efectiva la germinación. Cuando las semillas emergieron se mantuvieron 3 semanas en el almacigo para posteriormente ser trasplantadas (Figura 5 y 6).



Figura 4. Arreglo de los tratamientos dentro del invernadero.



Figura 5. Plántula de lechuga recién emergida.



Figura 6. Plántula de lechuga a la primera semana de emergencia.

4.5 Trasplante

El trasplante se llevó a cabo 24 días después de la siembra (DDS), cuando la plántula desarrolló cuatro hojas verdaderas (Figura 7). La densidad de plantación de la lechuga fue de 5.05 plantas m^{-2} , con una distancia de 0.2 m entre planta (Figura 8).



Figura 7. Plántula de lechuga lista para el trasplante (24 DDS)



Figura 8. Trasplante de plántulas de lechuga a una densidad de 5.05 plantas m⁻².

4.6 Riego

El consumo de agua en lechuga dependió de la etapa fenológica y la influencia de los factores climáticos (temperatura y radiación). La lechuga demanda una humedad de 500 mL día⁻¹ en la etapa de madurez (Salinas, 2010).

4.7 Fertilización

4.7.1 Aplicación de vermicomposta

Todos los tratamientos excepto el testigo, se les aplicó vermicomposta sólida a una dosis de 40 t ha⁻¹ (González, 2009) y se adquirió de una empresa con la certificación de la normativa NMX-ff-109-scfi-2007, con el fin de garantizar que en el proceso no estuviera presente *Escherichia coli* y *Clostridium botulinum*, y no puedan establecerse en el cultivo.

4.7.2 Preparación de tés orgánicos

Para la preparación de los tés orgánicos (realizados de acuerdo a la metodología descrita por Edwards *et. al.*, (2007)), los residuos de origen orgánico (de origen ovino y bovino de libre pastoreo) se sometieron a un proceso de pre-compostaje, el cual tuvo una duración de 27 días, procedimiento en donde se tuvieron todos los cuidados requeridos como el control de la temperatura, incorporación de O₂ por medio del movimiento de la mezcla y se controló la humedad; el proceso de compostaje terminó cuando no presentó ni despidió olores desagradables del montículo.

Los tés se realizaron a partir de composta de borrego, composta de vaca y vermicomposta, y fueron sometidos a humedad por al menos 24 h para que los nutrientes solubles quedarán retenidos en la solución; se controló su concentración por medio de la conductividad eléctrica (Ce), donde se manejaron conductividades de 1.5, 2 y 2.5 mS cm⁻¹ para cada té, y además se reguló el pH a 5.8 por medio de la incorporación de ácido cítrico a la solución; la aplicación de los tés se realizó foliarmente por aspersion hasta el punto de goteo por medio de atomizadores (Figura 9), una vez preparados se mantuvieron en refrigeración para evitar su fermentación..



Figura 9. Preparación de tés en atomizadores para su aplicación foliar.

4.7.3 Preparación de solución foliar química

Se realizó de acuerdo a la formulación Steiner (1984), donde se contemplaron fertilizantes de origen químico que suministren las ppm (partes por millón o mg L^{-1}) requeridas (Tabla VII), además se manejaron Ce de 1.5, 2 y 2.5 mS cm^{-1} y el pH fue regulado a 5.8 por medio de ácido cítrico, la aplicación se realizó foliarmente por aspersión hasta el punto de goteo por medio de atomizadores.

Tabla VII. Ppm contempladas por elemento según Steiner (1984).

Elemento	ppm (mg L^{-1})
N	180
P	51
K	277
Ca	183
Mg	49
S	96
Fe	3
Mn	1.97
Cu	0.02
Zn	0.11
B	0.44
Mo	0.01

4.7.4 Fertilización comercial

Con la finalidad de realizar una comparación más general se contempló usar una fertilización comercial de Steiner (1984) al 100% vía fertirriego usando como sustrato tezontle tratando de simular un sistema hidropónico, el cual representó al

tratamiento testigo y no contuvo vermicomposta, se controló el pH a 5.8 y se manejaron las mismas ppm que se muestran en la Tabla VII.

4.8 Acolchado orgánico

Con la finalidad de aumentar la retención de humedad en el suelo evitando la rápida evaporación y lixiviación del riego, se incorporó acolchado orgánico a partir de paja de cebada, donde fue cubierta una superficie de 40 m² de suelo del cultivo usando 0.5 m³ de paja, incorporándola en las camas así como en los pasillos (Figura 10).



Figura 10. Acolchado orgánico de paja de cebada en la zona de cultivo.

4.9 Control fitosanitario

El control de plagas y enfermedades se llevó a cabo por medio de aplicaciones preventivas con extractos de origen orgánico y vegetal, donde se usaron

alomonas de ajo, extractos de cebolla y chile comerciales, y se aplicaron foliarmente (atomización hasta el puno de goteo) una vez por semana en condiciones de baja radiación.

4.10 Cosecha

Se realizó en la etapa de madurez de consumo, donde el total de días fue de 60 después de la siembra.

4.11 Variables evaluadas

Se evaluaron variables como el % de materia fresca y seca, las variables fueron medidas con la utilización de una báscula, además del contenido evolutivo de NO_3^- para establecer una hora de cosecha y el contenido de NO_3^- en la etapa final del cultivo con respecto a la fertilización usada.

4.11.1 Porcentaje de materia fresca y seca

El porcentaje de materia fresca y seca fue determinado por medio del peso de la materia fresca y seca de cada muestra. Las lechugas fueron deshidratadas solarmente (3 muestras por tratamiento), estableciendo que cuando el peso de las muestras fuera constante en los pesajes se consideró que el producto ya no contenía humedad. El valor fue calculado con las siguientes ecuaciones:

$$Pps = \frac{Ps}{Pf} \times 100 \quad (1)$$

$$Ppf = 100 - Pps \quad (2)$$

Donde:

Ps= Peso seco

Pf= Peso fresco

Pps= Porcentaje de material seca

Ppf= Porcentaje de material fresca

4.11.2 Contenido evolutivo de NO_3^- para la determinación de la hora de cosecha

La determinación del contenido de NO_3^- se llevó a cabo mediante el corte de una hoja basal de una muestra de lechuga en cada uno de los tratamientos de las cuatro repeticiones. La muestra obtenida se incorporó a una prensa extractora de tejidos vegetales para obtener una cantidad suficiente de savia, se llevó a cabo la lectura del contenido de NO_3^- con el equipo Compact NO_3^- Meter Twin NO_3^- Modelo B-343, Marca HORIBA, Ltd.; la lectura se realizó en tres momentos diferentes del día: mañana (7:00 a.m.), tarde (1:00 p.m.) y noche (7:00 p.m.) y de manera evolutiva a los 48 y 63 días después del trasplante y antes de la cosecha del cultivo.

La hora ideal de cosecha fue determinada a partir de la expresión del menor contenido de NO_3^- de acuerdo a la hora que fue recolectada la muestra, siendo la radiación y la temperatura los factores que influyeron principalmente.

4.11.3 Contenido de NO_3^- respecto a la fertilización

Ya establecida la hora ideal de cosecha, se realizó una medición de NO_3^- en la etapa final del cultivo en la hora del día con menor expresión de contenido, con la finalidad de observar la respuesta del contenido de NO_3^- con respecto a la fertilización usada, empleando el procedimiento descrito en la sección anterior.

V. EXPERIMENTACIÓN

5.1 Diseño experimental

El diseño experimental de la investigación fue bloques completos al azar con 4 repeticiones, y una unidad experimental de 4 plantas, teniendo un total de 12 tratamientos más el testigo (cabe señalar que todos los tratamientos tuvieron vermicomposta sólida a excepción del testigo). En el experimento se manejó un factor el cual fue la fertilización y 12 niveles de aplicación que corresponden a las dosificaciones, la descripción de los tratamientos está estructurada en la Tabla VIII.

Tabla VIII. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Fertilización	Dosificación
T1	CB	D1
T2		D2
T3		D3
T4	VC	D1
T5		D2
T6		D3
T7	CV	D1
T8		D2
T9		D3
T10	ST	D1
T11		D2
T12		D3
T13*	Testigo*	

Donde:

CB: Fertilización foliar con té de composta de borrego.

VC: Fertilización foliar con té de vermicomposta.

CV: Fertilización foliar con té de composta de vaca.

ST: Fertilización foliar Steiner (1984)

D1: Dosificación a 1.5 mS cm^{-1}

D2: Dosificación a 2 mS cm^{-1}

D3: Dosificación a 2.5 mS cm^{-1}

*Steiner (1984) al 100% vía fertirriego

Cada tratamiento fue ubicado en una posición aleatoria dentro del invernadero, donde cada descripción de la fertilización perteneciente a la unidad experimental fue mostrada en papel fomi de color diferente con su respectiva Ce (Figura 11).



Figura 11. Descripción de los tratamientos con respecto a la fertilización.

5.2 Análisis estadístico

Las variaciones en las variables provenientes de cada tratamiento se evaluaron por medio de un análisis de varianza (ANOVA) y pruebas múltiples de medias (prueba de Tukey), con un nivel de confianza del 95% ($\alpha \leq 0.05$).

5.3 Curva de calibración

Se realizó una curva de calibración con la metodología de mínimos cuadrados para comprobar la linealidad de los datos de salida que proporcionó el equipo Compact NO₃⁻ Meter TwinNO₃⁻ Modelo B-343, Marca HORIBA, Ltd. en la medición de los NO₃⁻, a fin de asegurar que la recta encontrada con los puntos experimentales se ajuste correctamente al modelo matemático de la ecuación se calcularon los valores de la ordenada al origen (b), la pendiente (m) y el coeficiente de determinación (r²) a partir de un analito de 150 ppm y sus disoluciones correspondientes a 75, 37.5, 18.25 y 9.125 ppm de NO₃⁻.

$$m = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum xy \sum x}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (4)$$

$$r^2 = \frac{(n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y))^2}{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)} \quad (5)$$

Donde:

m= pendiente

b= ordenada al origen

r²= coeficiente de determinación

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Emergencia de plántula

Las semillas de lechuga de polinización abierta (*Lactuca sativa* L. var. Vulcán) germinaron a los 4 días después de la siembra (dds) (Figura 12), proceso beneficiado por las altas temperaturas registradas debido a la estación del año, el porcentaje de emergencia fue del 89%. El proceso evolutivo de la variedad desde la siembra hasta la cosecha fue de 91 días, contemplando que desde la germinación hasta el trasplante fue de 21 días y 70 días de crecimiento vegetativo.



Figura 12. a) Germinación de la semilla de lechuga a los 4 dds, b) estado de la plántula a la segunda semana de germinación con la primera hoja verdadera.

6.2 Establecimiento de la hora de cosecha

Con la finalidad de establecer la hora ideal para la medición final de NO_3^- y que los resultados establecieran la expresión de NO_3^- con respecto a la fertilización y no a la radiación, fueron realizadas dos mediciones quincenales durante el crecimiento del cultivo para la determinación de la hora, obteniendo las muestras de la misma planta para su medición, realizadas a los 48 y 63 días, ya que fueron los días más próximos a la cosecha.

En la gráfica de la primera medición (Figura 13) se observa menor contenido de NO_3^- en todos los tratamientos donde la cosecha fue realizada a las 7:00 a.m. a excepción del testigo, que incluso sobrepasó el límite permisible de 3500 ppm establecido por el Diario de las Comunidades Europeas para la estación correspondiente del 1 de abril al 30 de septiembre en condiciones protegidas, lo cual muestra que uno de los principales factores que afecta el contenido de nitratos es la radiación existente a esa hora (Campbell, 1999; Antón & Lizaso, 2001; Morozkina & Zvyagilskaya, 2007; Escalona *et al.*, 2009). Se observa además que el contenido de NO_3^- se elevó conforme aumentaba la radiación (Valverde *et al.*, 2009) alcanzando su mayor punto a las 13:00 horas y en algunos tratamientos como T9, T10, T12 y T4 incluso aumentó en la medición de las 7:00 p.m. rebasando el límite permisible.

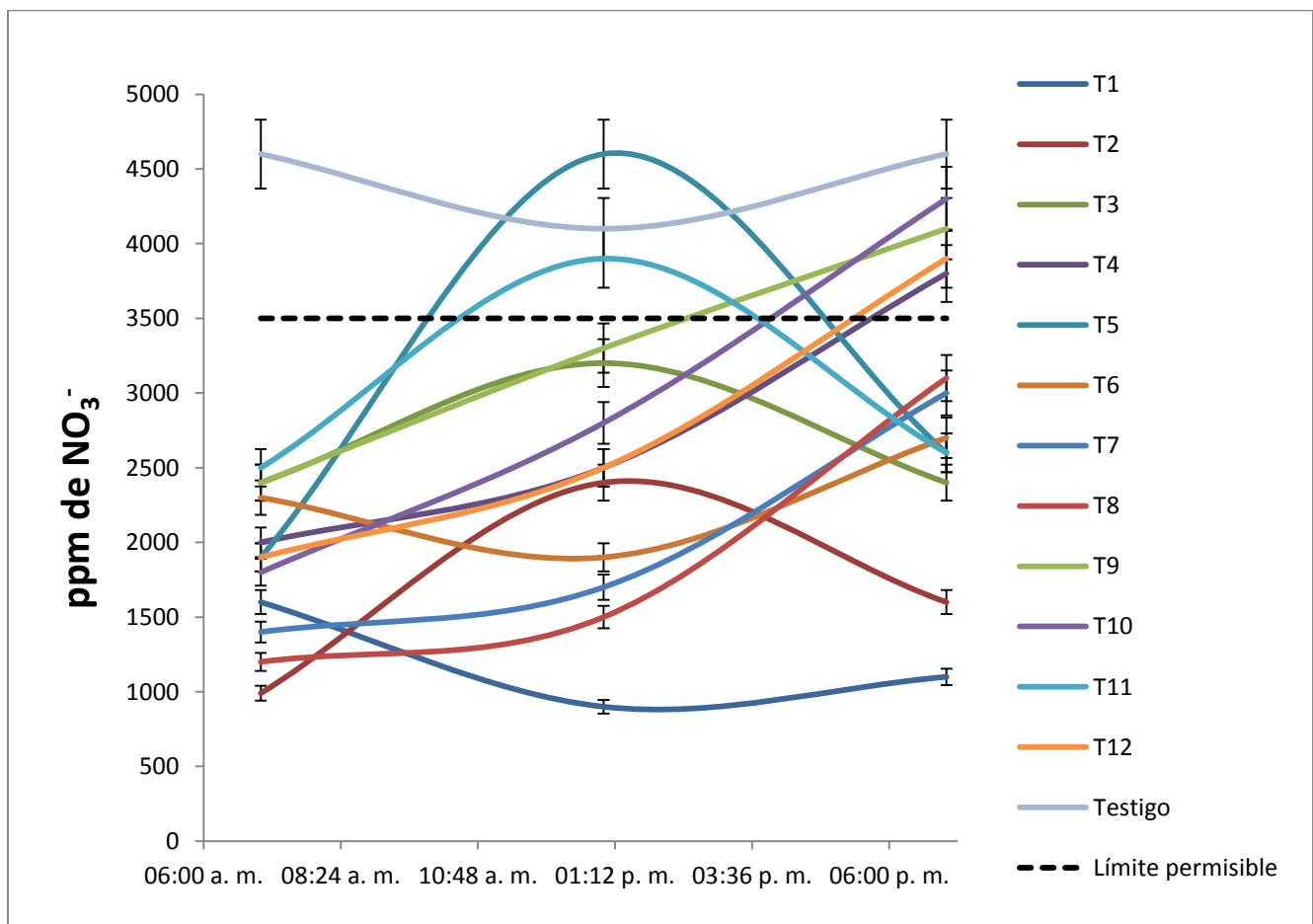


Figura 13. Gráfica representativa de la primera medición del contenido de NO_3^- a los 48 días.

En el caso de la segunda medición de NO_3^- en las lechugas (Figura 14) se registró de igual forma menor contenido de NO_3^- en la medición realizada a las 7:00 a.m., observando que en el tratamiento testigo de solución comercial Steiner (1984) superó el límite permisible y con el transcurso del tiempo éste se vio disminuido considerablemente semejante con lo ocurrido al tratamiento 5, además que con respecto a la medición realizada a la 1:00 p.m. en comparación con la hecha a las 7:00 p.m. los tratamientos disminuyeron el contenido de NO_3^- .

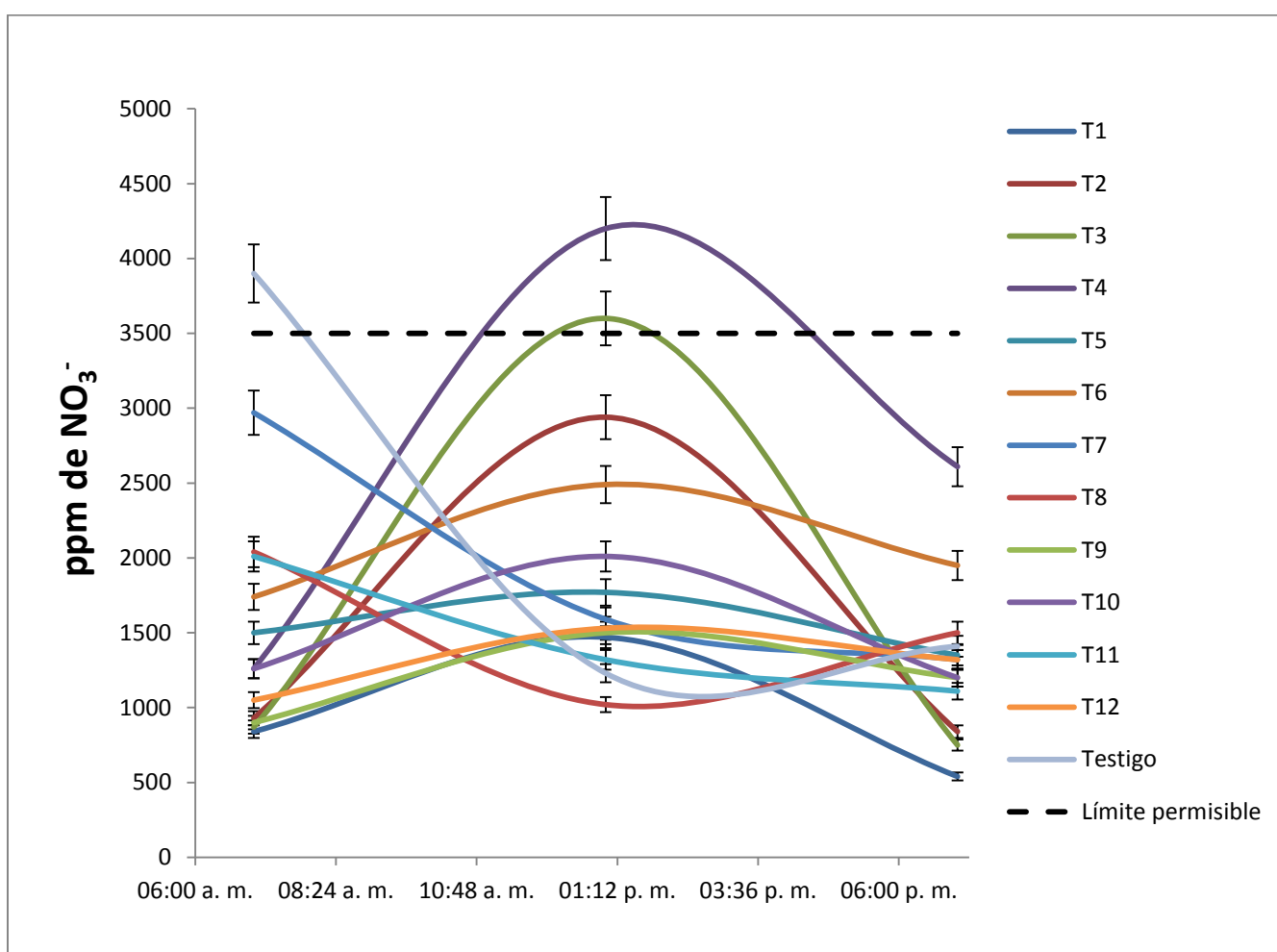


Figura 14. Gráfica representativa de la segunda medición del contenido de NO_3^- a los 63 días.

Conforme a las mediciones realizadas se ha observado que independientemente del tratamiento aplicado se ha registrado menor contenido de NO_3^- en condiciones de baja radiación, correspondientes a las 7:00 a.m. por lo que se recomienda ampliamente la cosecha de la lechuga en la hora antes mencionada, ya que el movimiento del N a través de la planta es afectado por muchos factores como el pH, la Ce, humedad, flora microbiana, pero sobre todo la temperatura y la radiación (Pavlou *et al.*, 2006; Rodríguez, 2009; Sánchez, 2010).

6.3 Contenido de NO_3^- respecto a la fertilización

Establecida la hora de cosecha que fue a las 7:00 a.m., el análisis de varianza (ANOVA) para el monitoreo del contenido de NO_3^- en los 13 niveles de fertilización empleados en las lechugas mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos (Tabla IX), en la gráfica se representan los valores de los contenidos de los respecto a la fertilización que se empleó (Figura 15). El menor valor fue registrado en T1 perteneciente al té de composta de borrego a 1.5 mS cm^{-1} de Ce, estableciéndose muy por debajo del tratamiento control con fertilización comercial Steiner (1984) al 100%, el cual según la Tabla X, donde fueron establecidos los promedios (promedio de 3 muestras obtenidas de cada tratamiento) del contenido de NO_3^- fue 4.33 veces mayor con respecto a T1 a un nivel de confianza del 95%.

Tabla IX. ANOVA del contenido de NO_3^- en las 13 fertilizaciones.

	DF	Sum of Squares	Mean Squares	F Value	Prob F
Model	12	1.79803E7	1.49836E6	23.41958	3.84137E-14
Error	39	2.49518E6	63978.91738		
Total	51	2.04755E7			

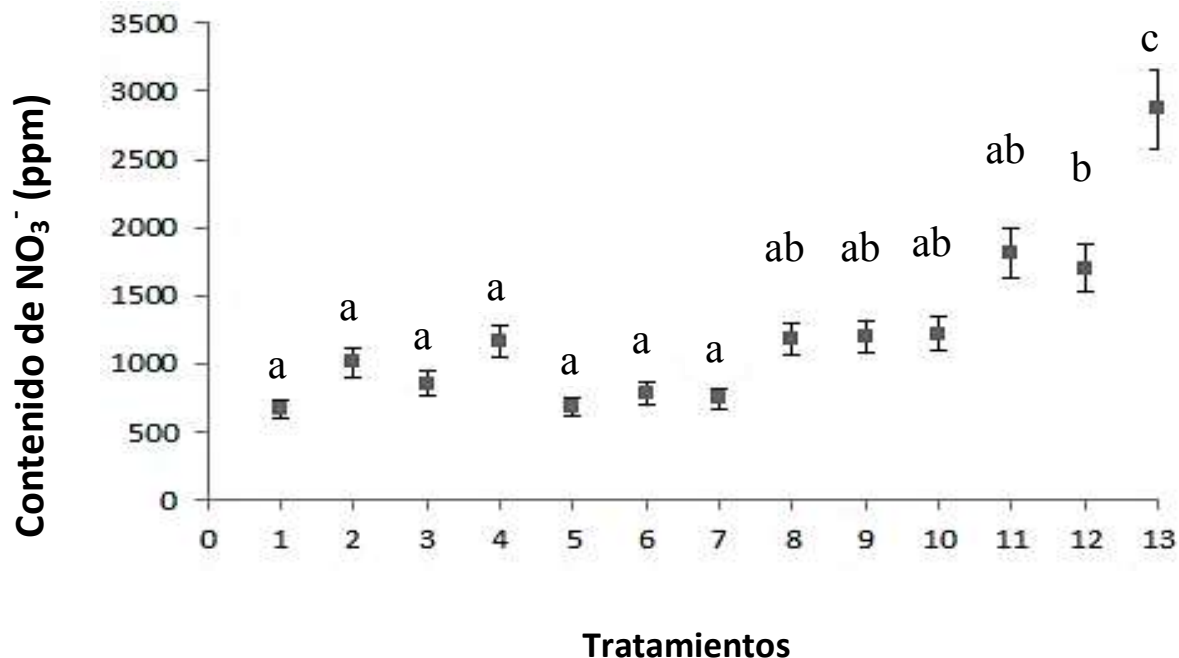


Figura 15. Contenido de NO₃⁻ en la cosecha de la lechuga. Valores con la misma letra son estadísticamente iguales. Prueba de Tukey al 95%.

Cabe resaltar que las fertilizaciones orgánicas que corresponden del tratamiento 1 al 9 no superaron las 1200 ppm de NO₃⁻ siendo estadísticamente iguales, influenciados de alguna manera por la disponibilidad de nutrientes como NO₃⁻ y NH₄⁺ en la fertilizaciones utilizadas; constantemente se han realizado investigaciones donde son comparadas fertilizaciones químicas y orgánicas en el contenido de nitratos y generalmente la fertilización orgánica proporciona menor cantidad de NO₃⁻ debido a la presencia variable de nutrientes nitrogenados ya que puede contener compuestos tanto nítricos como amoniacales (Pavlou *et al.*, 2006; Hernández *et al.*, 2010; Bertrand *et al.*, 2011).

Tabla X. Contenido final promedio de NO₃⁻ en los tratamientos.

Tratamientos	Nitratos (ppm)
T1	662
T2	1006
T3	855

T4	1166
T5	686
T6	784
T7	745
T8	1175
T9	1198
T10	1217
T11	1817
T12	1700
T13	2867

La tolerancia establecida por el Diario Oficial de la Comunidades Europeas para la estación primavera-verano correspondiente del 1 de abril al 30 de septiembre es de 3500 ppm para el cultivo de lechuga bajo condiciones protegidas, por lo que ningún tratamiento de la investigación sobrepasó el límite permisible de nitratos en el presente marco establecido, de acuerdo con Pavlou *et al.*, (2006) y Salinas, (2010) donde tampoco fueron superados los límites permisibles.

6.4 Curva de calibración

Con la finalidad de establecer el margen de error que proporcionó el equipo Compact NO₃⁻ Meter TwinNO₃⁻ Modelo B-343, Marca HORIBA, Ltd. en la medición del contenido de NO₃⁻, se realizó una curva de calibración (Figura 16), observando que los valores de entrada y de salida correspondientes al analito usado de 150 ppm, presentan los valores establecidos siendo los datos de salida los más cercanos a los reales (Tabla XI), obteniendo una r^2 (linealidad) mayor a 0.98, por lo que el equipo se encuentra en criterios de linealidad aceptables para la respuesta efectuada en los valores de salida.

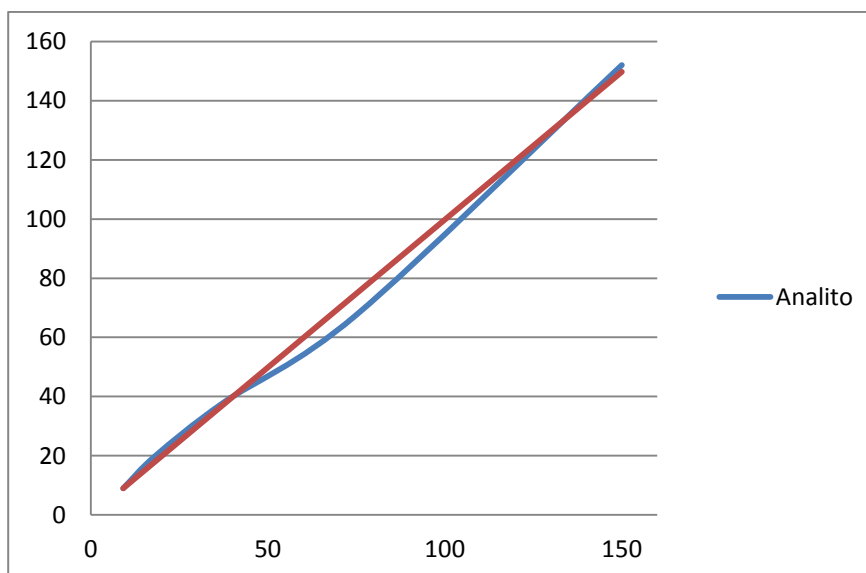


Figura 16. Curva de calibración del equipo Compact NO₃⁻ Meter TwinNO₃⁻ Modelo B-343, Marca HORIBA, Ltd.

Tabla XI. Parámetros resultado de la curva de calibración.

Precisión (S)	2.93078488
Exactitud	10%
Linealidad (r²)	0.99545022
Sensibilidad (m)	0.99881411

6.5 Porcentaje de materia seca y fresca

El porcentaje de materia seca y fresca de las lechugas influido por los tratamientos correspondientes al nivel de fertilización son presentados en la Tabla XII, donde se presenta que en los valores obtenidos hay variabilidad entre tratamientos, los resultados muestran un porcentaje de materia seca menor al 10% en los tratamientos 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11 y 13; los tratamientos 1, 6 y 9 correspondientes a fertilizaciones orgánicas tienen un porcentaje de materia seca mayor al 10% ; y sólo el tratamiento 12 correspondiente a fertilización foliar de Steiner (1984) a 2.5

mS cm⁻¹ obtuvo un 14.62%, siendo éste último el que presentó mayor contenido de sólidos en la investigación y por lo cual menor contenido de agua en su estructura.

Tabla XII. Porcentaje de materia seca y fresca respecto a los tratamientos.

Tratamientos	Materia seca	Materia fresca
T1	10.34%	89.66%
T2	8.03%	91.97%
T3	6.05%	93.95%
T4	6.73%	93.27%
T5	8.83%	91.17%
T6	10.65%	89.35%
T7	9.17%	90.83%
T8	8.18%	91.82%
T9	13.11%	86.89%
T10	6.69%	93.31%
T11	5.28%	94.72%
T12	14.62%	85.38%
T13	9.22%	90.78%

Los componentes estructurales como proteínas y aminoácidos en las hojas de los vegetales son parte fundamental de la materia seca que queda al extraer el agua de la estructura foliar, por lo que existe una relación con el contenido de nitratos en la hoja y su transformación a materia seca (Sánchez, 2010). Es importante considerar la calidad de los vegetales que son consumidos por la población siendo la lechuga uno de los más consumidos, por lo que respecto al porcentaje de materia seca y fresca es una manera de verificar el contenido total de sólidos que realmente posee el vegetal, más sin embargo también es muy necesario conocer el origen de su producción como lo son las lechugas fertilizadas de manera orgánica (Chiesa, 2010). En adición a la reducción del contenido de

NO_3^- con la fertilización orgánica, Pavlou *et al.*, 2006, demostró que la producción de lechugas en forma orgánica mejora el producto respecto a la calidad aumentando el contenido de fenoles, flavonoides y capacidad antioxidante.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación, se concluye que la calidad de una lechuga no es reducida por el uso de fertilizantes de origen orgánico.

V. CONCLUSIÓN

Determinar la calidad de las lechugas es de alta importancia considerando el contenido de NO_3^- y el porcentaje de materia fresca y seca, ya que es posible establecer una lechuga con bajo contenido de NO_3^- pero con un alto porcentaje de materia seca. El objetivo de la producción orgánica de lechuga es prevenir enfermedades relacionadas al consumo de vegetales con alto contenido de NO_3^- y el consumo de vegetales de mayor calidad nutricional siendo esta forma de producción ambientalmente, económicamente y saludablemente recomendable para ser promovida, ya que se orienta a la reutilización de desechos para disminuir la contaminación ambiental y proporciona menor contenido de NO_3^- , lo que proporciona una mejor salud y cultivos de calidad.

En esta investigación, se pudo verificar que los fertilizantes orgánicos son recomendados para la producción de lechugas con calidad y baja concentración de NO_3^- , además son una buena opción para cultivar otro tipo de vegetales y ser utilizados para futuros experimentos en el área agronómica.

VI. LITERATURA CITADA

- Alli, M., Griffiths, A., Williams, K., & Jones, D. (2007). Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. *European Journal of Soil Biology*(43), 316 – 319.
- Antón, A., & Lizaso, J. (2001). *Nitritos, nitratos y nitrosaminas*. Madrid.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., & Bierman, P. (2005). Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*(97), 831 - 840.
- Arancon, N. Q., Edwards, C. A., Bierman, P., & Metzger, J. D. (2005). Effects of vermicomposts produced from cattle manure, food waste and paper waste on the growth and yield of peppers in the field. *Pedobiologia*(49), 297 - 306.
- Barquero, G. C. (2002). Fertilización foliar de hortalizas en invernadero. *Fertilización foliar: principios y aplicaciones*, (págs. 77 - 81). Costa Rica.
- Bertrand, H., Thierry, T., & Peter, J. (2011). Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability*, 1452 -1485.
- Bollo, E. T. (2003). *Lombricultura: una alternativa de reciclaje* (2 ed.). Quito, Ecuador: Soboc Grafic.
- Campbell, W. H. (1999). NITRATE REDUCTASE STRUCTURE, FUNCTION AND REGULATION: Bridging the Gap between Biochemistry and Physiology. *Plant Physiology*, 50, 277–303.
- Campitelli, P., & Ceppi, S. (2007). Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*(90), 64 - 71.
- Carrasco, G., Tapia, J., & Urrestarazu, M. (2006). Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. *IDESIA*, 24(1), 25 - 30.

- Chaney, R. L., & Ryan, J. A. (1994). Development of limits for land application of municipal sewage sludge. *Soil Science*, 3, págs. 534-553. Acapulco: In trans.
- Chiesa, A. (2010). Factores precosecha y postcosecha que inciden en la calidad de la lechuga. *Horticultura Argentina*, 29 - 68.
- Davis, R. M., Subbarao, K. V., Raid, R. N., & Kurtz, E. A. (2002). *Plagas y enfermedades de la lechuga* (1 ed.). España: Mundi- Prensa.
- DIARIO OFICIAL DE LA COMUNIDADES EUROPEAS. (2002). *Reglamento (CE) N° 563/2002*. Recuperado el 18 de Enero de 2015, de europa.edu.int/eurlex/pri/es/oj/dat/2002/1_086/1_08620020403es00050006.pdf
- Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Greytak, S. (2006). Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. *BioCycle*, 47, 28 -31.
- Escalona, A., Santana, M., Acevedo, I., Rodríguez, V., & Marco, L. M. (2009). Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "SPAD" en el cultivo de lechuga. *Agronomía Trop*(59), 99-105.
- Europea, D. O. (2011). Reglamento (UE) No. 1258/2011 de la comisión que modifica el Reglamento (CE) n o 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de nitratos en los productos alimenticios.
- FAO. (2013). *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Recuperado el 2014, de www.fao.org
- Ferreras, L., Gómez, E., Toresani, S., Firpo, I., & Rotondo, R. (2006). Effect of organic amendments on some physical, chemical and biological properties in a horticultural soil. *Bioresource Technology*(97), 635 – 640.
- Figuroa, V. U., Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Palomo, G. A., & Esteban, F. C. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*(3), 265-272.

- Fornes, F., Hernández, D. M., de-la-Fuente, R. G., Abad, M., & Belda, R. M. (2012). Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology*(118), 296 - 305.
- Frederickson, J., Howell, G., & Hobson, A. M. (2007). Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. *European Journal of Soil Biology*(43), 320 - 326.
- Gallardo, M., Jackson, L. E., & Thompson, R. B. (1996). Shoot and root physiological responses to localized zones of soil moisture in cultivated and wild lettuce (*Lactuca* spp). *Plant Cell and Environment*, 19, 1169-1178.
- Gutiérrez-Miceli, F. A., Borraz, J. S., Montes-Molina, J. A., Nafate, C. C., Abud-Archila, M., Oliva-Llaven, M. A., y otros. (2007). Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*(98), 2781–2786.
- Hernández, A., Castillo, H., Ojeda, D., Arras, A., López, J., & Sánchez, E. (2010). Effect of vermicompost and compost on lettuce production. *Chilean journal of agricultural research*(70), 583 – 589.
- Hutchison, M. L., Walters, L. D., Avery, S. M., Munro, F., & Moore, A. (2005). Analyses of livestock production, waste storage, and pathogen levels and prevalence in farm manures. *Applied and Environmental Microbiology*(71), 1231 - 1236.
- Lazcano, C., Arnold, G., Tato, A., Zaller, J. G., & Domínguez, J. (2009). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. *Spanish Journal of Agricultural Research*(7), 944 - 951.
- Maroto, J. V. (2000). Botánica (taxonomía y fisiología) y adaptabilidad. En *La lechuga y la escarola* (págs. 26 - 43). Mundi Prensa – Caja Rural de Valencia.

- Morozkina, E. V., & Zvyagilskaya, R. A. (2007). Nitrate Reductases: Structure, Functions, and Effect of Stress Factors. *Biochemistry*, 72(10), 1151-1160.
- Ndegwa, P. M., & Thompson, S. A. (2000). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*(76), 107 – 112.
- Olymar, M. B., & Reyes, R. E. (2003). *Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura*. Asociación Interciencia.
- Ortiz, A. J. (2013). Tesis de especialidad. Caracterización de nitratos presentes en lechuga (*Lactuca sativa* L.) mediante el uso de impedancia eléctrica. Querétaro.
- Pavlou, G. C., Ehalotis, C. D., & Kavvadias, V. A. (2006). Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae*(111), 319–325.
- Pedreño, N., Herrero, M., Lucas, G., & M., B. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Madrid: Espagrafic.
- Raigon, M. D., García-Martínez, M. D., & Guerrero, C. (2006). Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga. *Congreso SEAE Zaragoza*.
- Raigón, M. D., García-Martínez, M. D., Guerrero, C., & Esteve, P. (2006). Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga. *VII Congreso SEAE* , (págs. 113 - 154). Zaragoza.
- Restrepo, J. (2007). *Manual práctico: El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas* (1 ed.). Colombia: Managua.
- Rincón, L. (2001). Necesidades hídricas, absorción de nutrientes y respuesta a la fertilización nitrogenada. *Tesis doctoral*, (pág. 211).

- Rodríguez, R. A. (2009). *La problemática de los nitratos en la horticultura*. Bahía Blanca, Argentina.
- Rodríguez, R. A. (2012). La problemática de los nitratos en la horticultura. *Seminario de horticultura urbana y periurbana del diagnóstico a la búsqueda colaborativa de soluciones*. San Pedro: INTA EEA.
- SAGARPA-SIAP. (2012). *Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*. Recuperado el 2014, de Servicio de información agroalimentaria y pesca: www.siap.gob.mx, www.sagarpa.gob.mx
- Salinas, P. S. (2010). Tesis de Especialidad. Efecto del ácido salicílico sobre la tolerancia a estrés hídrico en lechuga (*Lactuca sativa* L.) bajo condiciones de invernadero. Querétaro.
- Sánchez, L. (2005). *Fertirrigación de la lechuga iceberg*. Murcia: INIA-IMIDA.
- Sánchez, T. M. (2010). Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Rev. de la Fac. de Agronomía – UNLPam*(21).
- Sánchez, T. M. (2010). Evaluación de la calidad de lechuga (*Lactuca sativa* L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca. *Fac. de Agronomía - UNLPam*(21).
- Singh, B. K. (2002). Fertilización foliar con ácidos húmicos. *Fertilización foliar: principios y aplicaciones*, (págs. 101 - 106). Costa Rica.
- Tarigo, A., Repetto, C., & Acosta, D. (2004). Tesis de maestría. Evaluación agronómica de biofertilizantes en la producción de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a campo. Montevideo, Uruguay.
- Tejada, M., Gonzalez, J. L., Hernández, M. T., & García, C. (2008). Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource Technology*(99), 6228 - 6232.

- Tosun, I., & Utsun, N. S. (2004). Nitrate content of lettuce grown in greenhouse. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 72(1), 109 - 113.
- Valverde, K., Chang, M., & Rodríguez-Delfín, A. (2009). Efecto de la calidad de luz sobre la actividad de la nitrato reductasa en plantas de lechuga cultivadas en NFT. *Red Hidroponía*(45).