



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**Acumulación de nitratos en hojas de lechuga (*Lactuca
sativa* L. var. *trocadero*) bajo cultivo orgánico**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN BIOLOGÍA

P R E S E N T A

EIRA GUZMÁN ESTRELLA

DIRECTORA DE TESIS

Dra. María Socorro Orozco Almanza



**FES
ZARAGOZA**

CDMX, Junio 2019

Investigación realizada con financiamiento de la DGAPA. PAPIIME PE205718



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A Dios

Por ser el principio generador.

A mis padres Guadalupe Estrella y Alejandro Guzmán

Porque me han dado la fortaleza para salir adelante y me encaminaron por el buen sendero, por fin llega una etapa que fructificó gracias a sus consejos, regaños y apoyo incondicional.

A mi hermano Alexis Guzmán

A pesar de todas las dificultades has salido adelante, eres un guerrero y llegaras tan lejos como tú lo desees. Ver tu esfuerzo por lograr tus sueños ha sido mi motivación. Siempre tendrás mi respeto y mi apoyo.

A mi tía Nohemí Estrella

Gracias por todo el apoyo que me has brindado, pero sobre todo gracias por todos tus consejos que me han ayudado a mi crecimiento personal.

A mi abuela Ma. Teresa Sánchez

Gracias abuelita por ser un ejemplo moral para mí y por enseñarme que la edad no es un obstáculo.

Y finalmente para una persona muy importante para mí, que no necesito escribir su nombre, pero que sabe que esta dedicatoria especial es para agradecerle sus consejos, su apoyo y sobre todo por acompañarme en el camino y ser parte de la culminación.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por abrirme las puertas de esta gran casa que me dio la oportunidad de una formación intelectual y moral.

Gracias a mi directora de Tesis la Dra. Ma. Socorro Orozco Almanza por todas sus atenciones conmigo, por motivarme a terminar este trabajo que sin su ayuda no hubiera sido posible.

A mis sinodales Dra. Esther Matiana, Dra. Hortensia Rosas y José Rigoberto Ramos por sus aportaciones a que este trabajo quedara lo mejor posible.

Dr. Arcadio Monroy por compartir su conocimiento conmigo y brindarme su apoyo para continuar con mi desarrollo académico e intelectual.

A mis dos grades amigas, Elizabeth Gonzáles que me oriento en todo momento y a Karen Zamora por ser parte de tantas vivencias durante nuestra carrera.

A los maestros Roberto Ramos González y María de Jesús Rojas Cortés por ser tan maravillosos seres humanos y enriquecer con sus sugerencias y consejos este trabajo.

Al Dr. Eduardo Chimal Sánchez por su apoyo en la asesoría estadística.

A la DGAPA en especial al PAPIME por su apoyo en el financiamiento de este trabajo.

Índice

Resumen	1
I. Introducción	2
II. Marco teórico	4
2.1 Agricultura convencional.....	4
2.2 Agricultura ecológica.....	5
2.3 Abonos orgánicos	6
2.3.1 Bocashi	7
2.3.2 Composta	8
2.4 Fertilizantes químicos.....	8
2.5 Importancia del nitrógeno en la planta.....	9
2.6 Asimilación del nitrógeno.....	10
2.6.1 Fuentes de nitrógeno para las plantas	10
2.6.2 Mineralización e inmovilización del nitrógeno	11
2.6.3 Metabolismo del nitrógeno en la planta.....	12
2.7 Nitratos en las hojas de las hortalizas de hoja verde y su relación con la salud	13
2.8 Trabajos relacionados con el tema.....	16
2.9 Características generales del cultivo de la lechuga.....	17
2.9.1 Origen	17
2.9.2 Clasificación taxonómica	17
2.9.3 Características botánicas de la lechuga.....	18
2.9.4 Requerimientos agroecológicos para el cultivo	19
2.9.5 Contenido nutricional.....	20
III. Pregunta de investigación	21
IV. Hipótesis	21
V. Justificación	21
VI. Objetivos	22
6.1 Objetivo General	22
6.2 Objetivos Específicos.....	22
VII. Método	23

7.1	Área de estudio	23
7.2	Elaboración de los abonos orgánicos	24
7.3	Calidad de los abonos orgánicos	24
7.3.1	Calidad del abono orgánico bocashi.....	24
7.3.2	Calidad del abono orgánico composta	24
7.4	Obtención del germoplasma	25
7.5	Elaboración del sustrato para almácigo	25
7.6	Cultivo en almácigo	26
7.7	Diseño experimental	26
7.8	Preparación del sustrato para el cultivo de la lechuga	27
7.9	Trasplante de las plántulas de lechuga	27
7.10	Actividades culturales	28
7.10.1	Composta y bocashi	28
7.10.2	Testigo	28
7.11	Medición de las variables morfológicas	29
7.11.1	Porcentaje de emergencia	29
7.11.2	Supervivencia	29
7.11.3	Altura de la planta	29
7.11.4	Cobertura foliar	29
7.11.5	Tasa de crecimiento relativo	30
7.12	Variables del rendimiento	30
7.12.1	Número de hojas	30
7.12.2	Índice de cosecha	30
7.12.3	Índice de calidad de Dickson	30
7.12.4	Índice de esbeltez.....	30
7.12.5	Relación raíz/vástago	31
7.12.6	Rendimiento	31
7.13	Variables de la calidad fisiológica.....	31
7.13.1	Concentración de nitratos.....	31
7.14	Análisis estadístico	32
VIII.	Resultados	32
8.1	Calidad de los abonos orgánicos	32

8.1.1	Calidad del abono composta	32
8.1.2	Calidad del abono bocashi.....	33
8.2	Calidad de la tierra de monte	34
8.3	Porcentaje de emergencia	35
8.4	Porcentaje de supervivencia	36
8.5	Variables morfológicas	37
8.5.1	Altura de la planta	37
8.5.2	Cobertura	39
8.5.3	Tasa de crecimiento relativo	40
8.6	Variables del rendimiento	41
8.6.1	Número de hojas	41
8.6.2	Índice de cosecha (IC).....	42
8.6.3	Índice de calidad de Dickson (ICD)	43
8.6.4	Índice de esbeltez.....	44
8.6.5	Atributos del rendimiento.....	45
8.6.6	Rendimiento	46
8.7	Concentración de nitratos.....	47
8.7.1	Nitratos en composta.....	47
8.7.2	Nitratos en bocashi.....	49
8.7.3	Nitratos con el fertilizante químico.....	51
8.8	Análisis de componentes principales	53
IX.	Discusión.....	55
9.1	Calidad de los abonos orgánicos	55
9.2	Calidad de la tierra de monte.....	57
9.3	Germinación del lote de semillas	58
9.4	Supervivencia	59
9.5	Altura, cobertura y número de hojas	59
9.6	Tasa de crecimiento relativo	60
9.7	Variables de biomasa	62
9.7.1	Índice de cosecha, índice de calidad de Dickson, índice de esbeltez y relación raíz /vástago.....	62
9.8	Rendimiento	64

9.9 Concentración de nitratos en hojas	64
9.10 Análisis de componentes principales	68
X. Conclusiones	69
XI. Recomendaciones	69
XII. Referencias	70
XIII. Anexo	80
13.1 Elaboración de abonos orgánicos	80
13.2 Interpretación del análisis de la composta	84
13.3 Asimilación del nitrógeno en dos tipos de producción agrícola	85

Índice de figuras

Figura 1. Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L. var. <i>trocadero</i>).....	18
Figura 2. Centro de Capacitación en Agricultura Urbana Ecológica “Chimalxochipan”	23
Figura 3. Materiales utilizados para la elaboración del sustrato, a) turba; b) zeolita; c) lombricomposta y d) bocashi.	25
Figura 4. Almácigos con el sustrato para la siembra de semilla de lechuga.	26
Figura 5. Fertilizante químico utilizado durante el experimento.....	27
Figura 6. Trasplante de las plántulas de lechuga a las bolsas de plástico.....	28
Figura 7. Ionómetro portátil.....	31
Figura 8. Porcentaje de emergencia de la semilla de la lechuga.	35
Figura 9. Temperaturas promedio durante la germinación de las semillas de la lechuga, en el periodo de octubre y en el ciclo agrícola otoño-invierno.	35
Figura 10. Porcentaje de supervivencia para la lechuga, (n=25).	36
Figura 11. Altura media de las plantas de lechuga al momento de la cosecha en los diferentes tratamiento, (n=25).....	37
Figura 12. Tamaño de las lechugas en los tres diferentes tratamientos: a) bocashi, b) composta y c) fertilizante químico.	38
Figura 13. Cobertura media de las plantas de lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).....	39
Figura 14. Tasa de crecimiento relativo media para la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).	40
Figura 15. Número de hojas media al momento de la cosecha de las lechugas en los diferentes tratamientos, (n=25).	41
Figura 16. Índice de cosecha media para la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).	42

Figura 17. Índice de calidad de Dickson media para la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).	43
Figura 18. Índice de esbeltez media de la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).	44
Figura 19. Rendimiento de la lechuga en tres tratamientos; composta (A); bocashi (B) y testigo (C).	46
Figura 20. Concentración de nitratos en las diferentes hojas de la lechuga cultivadas con composta.	47
Figura 21. Concentración de nitratos en diferentes etapas de desarrollo de la lechuga, en el tratamiento composta.	48
Figura 22. Concentración de nitratos en las diferentes hojas de lechuga cultivadas con bocashi. ..	49
Figura 23. Concentración de nitratos en diferentes etapas del desarrollo de la lechuga, en el tratamiento bocashi.	50
Figura 24. Concentración de nitratos en las diferentes hojas de la lechuga cultivadas con el fertilizante químico.	51
Figura 25. Concentración de nitratos en diferentes etapas de desarrollo de la lechuga, en el tratamiento con fertilización química.	52
Figura 26. Análisis de componentes principales (ACP) para la composición nutrimental de los abonos orgánicos y la tierra de monte vs. Variables de la calidad morfológica de las plantas y la concentración de nitratos en las hojas de la lechuga.	53

Índice de figuras anexas

Figura 1. Ciclo del nitrógeno en un sistema de producción agrícola convencional.....	94
Figura 2. Ciclo del nitrógeno en un sistema de producción agrícola ecológico.....	94

Índice de cuadros

Cuadro 1. Contenido máximo de nitratos en las lechuga (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006).	15
Cuadro 2. Composición nutrimental de la lechuga por cada 100 g	20
Cuadro 3. Resultados del análisis del abono composta	32
Cuadro 4. Resultados del análisis del abono orgánico bocashi.....	33
Cuadro 5. Resultados de la calidad de la tierra de monte.	34
Cuadro 6. Biomasa de la raíz y vástago para las lechugas en los diferentes tratamientos.....	45
Cuadro 7. Porcentaje de influencia de los cofactores del análisis de componentes.	54
Cuadro 8. Coordenadas de los valores del análisis de componentes	54

Resumen

El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de nitratos en hojas externas, intermedias e interiores de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *trocadero*) con tres tipos de fertilización: dos abonos orgánicos (composta y bocashi) y un fertilizante químico (testigo positivo). El experimento se realizó en el vivero "Chimalxochipan" de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, en el ciclo productivo otoño-invierno 2017 y a cielo abierto. Las plantas de todos los tratamientos se colocaron en bolsas de plástico negro distribuidas al azar en una parcela de 6 m². Los abonos orgánicos y el fertilizante químico se aplicaron al momento del transplante; posteriormente y cada 15 días se aplicó una fertilización adicional para evitar deficiencias nutrimentales. Las variables de respuesta fueron emergencia, supervivencia, altura, cobertura, número de hojas, tasa de crecimiento relativo, índice de cosecha, índice de Dickson, biomasa seca y húmeda, índice de esbeltez, relación raíz/vástago, rendimiento y concentración de nitratos en hojas de acuerdo al Diario Oficial de la Unión Europea, 2006. Todas las variables de crecimiento se analizaron con un ANOVA de un factor y las medias se compararon mediante la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron en el programa NCSS versión 7; asimismo para determinar la relación entre la composición nutrimental de los abonos orgánicos y del fertilizante químico con la concentración de nitratos en hojas, índice de Dickson, altura y cobertura de las plantas, se aplicó un Análisis de Componentes Principales.

Los resultados obtenidos, demostraron que las plantas abonadas con composta presentaron la mejor calidad morfológica, las abonadas con bocashi una calidad intermedia y las fertilizadas químicamente la menor calidad, presentándose diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. La concentración de nitratos en las hojas para los tratamientos con abonos orgánicos fue menor en las hojas interiores e intermedias de las plantas, con valores permisibles para el consumo humano; pero las hojas exteriores presentaron valores altos; no obstante, esta normatividad es preventiva y depende de la frecuencia y cantidad de consumo del producto. Las plantas abonadas con bocashi presentaron las menores concentraciones de nitratos. Por lo anterior se concluye que la lechuga francesa, cultivada con bocashi y composta presenta mejor calidad morfológica, menor incidencia en plagas y menor concentración de nitratos en hojas; sin embargo es necesario realizar más estudios en relación a esto último, para encontrar con certeza el proceso que rige dicha acumulación de nitratos en las hortalizas de hoja verde.



I. Introducción

Los problemas de salud relacionados con la contaminación ambiental se han incrementado a la par con el desarrollo industrial y tecnológico del último siglo, el cual ha permitido alcanzar una mayor productividad, pero también, han aumentado las enfermedades originadas por la contaminación ambiental. Actualmente los nitratos son uno de los contaminantes producidos en gran parte por la excesiva fertilización de los campos (Calleros, Alarcón, Pérez, Cueto, Moran y Sanín, 2012).

La ingesta de nitratos en la dieta humana debería ser controlada y podría ser considerada como un factor de riesgo para la salud. Aunque los nitratos son relativamente inofensivos e inicialmente no son tóxicos para los humanos, después de una serie de transformaciones en el organismo, su conversión a nitritos resulta perjudicial para la salud (Valencia, Valenzuela, Quevedo, Aedo, 2015).

El nitrito es reconocido como un agente tóxico ya que al combinarse con alguna amina presente en el organismo se forman nitrosaminas, productos con acción cancerígena demostrada, especialmente de hígado, estómago, páncreas, riñones, esófago y vejiga (Vargas, López y Flores, 2014).

La reducción de nitratos a nitritos es también causa de metahemoglobinemia, esta enfermedad es más común en niños menores de 12 años, debido al aumento del pH en el estómago, ocasionando la oxidación de la hemoglobina que disminuye la captación del oxígeno (Calleros *et al.*, 2012).

Los nitratos están tomando cada vez más fuerza como parámetro de calidad del alimento, debido a los riesgos que pueden ocasionar a la salud del consumidor. Las dosis máximas permitidas en el consumo han variado con el tiempo, avanzando siempre hacia mayores exigencias en el control de estos valores (Raigón, García, Guerrero y Esteve, 2006). Por lo anterior, la Comisión Europea ha legislado, indicando los contenidos máximos de nitratos permitidos para lechuga cultivada en invernadero y al aire libre en diferentes épocas del año (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006).

En la industria de los alimentos los nitratos se emplean como aditivos, para mejorar la apariencia, calidad y sabor de los alimentos. Se emplean las sales sódicas y potásicas de nitratos y nitritos en la fabricación de productos cárnicos curados para desarrollar un efecto bactericida y un enrojecimiento de la carne, en la fabricación del queso que le permite un endurecimiento y en menor medida, en la conservación del pescado (Raigón, 2007). Respecto a las hortalizas en particular de hoja, (lechugas y espinacas) acumulan concentraciones elevadas de nitratos en los tejidos vegetales (Carrasco, Tapia y



Urrestarazu, 2006), debido a factores ambientales que influyen en la acumulación de nitratos: humedad atmosférica, contenido de agua en el sustrato del cultivo, temperatura, radiación y fotoperíodo, mientras que los factores agrícolas son, principalmente, condiciones de manejo y fertilización: dosis, momento de aplicación y tipos de fertilizantes, especialmente nitrogenados (Santamaría, 2006).

La fertilización química, se ha asociado a una alta concentración de nitratos en hortalizas de hoja verde, puesto que muchos fertilizantes inorgánicos están en formas de N fácilmente solubles, las necesidades de absorción de nitrógeno por una planta se pueden satisfacer muy rápidamente tras su aplicación (Powers y McSorley, 2001).

Raigón (2007), ha comprobado, que las hortalizas de hoja verde que proceden de sistemas de producción orgánica, acumulan menos nitratos en sus hojas, debido a que el sustrato donde crecen, los cuales son enriquecidos con abonos orgánicos, presentan una gran cantidad de materia orgánica y grandes poblaciones de microorganismos responsables de los cambios básicos que experimentan los compuestos nitrogenados en el suelo, por lo que la disponibilidad de materia orgánica en el suelo, es determinante en la cantidad de nitrógeno inorgánico disponible en un sistema ecológico .

Cruz (2006) y Azcón-Bieto y Talón (2008), citan que el ion nitrato en la solución del suelo, absorbido por la raíz puede ser reducido y asimilado en la propia raíz, o ser transportado a la parte aérea de la planta (en el caso de la lechuga, a las hojas), en donde es asimilado. Por otro lado, parte del nitrógeno asimilado en la raíz se exporta a la parte aérea principalmente en forma de glutamina y asparragina.

Del total del nitrato presente en la solución del suelo y absorbido por las plantas, las proporciones que se traslocan a la raíz o a las hojas, dependen tanto de los factores externos mencionados anteriormente, así como de factores intrínsecos de la propia planta (características genéticas) (Cruz, 2006).

Azcón-Bieto y Talón (2008), establecen que a una menor cantidad del ion nitrato en el suelo, este puede ser totalmente reducido en la raíz, mientras que altas cantidades del mismo, son principalmente transportadas al vástago, donde puede acumularse tanto en el tallo como en las hojas.

Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de los abonos orgánicos vs. la fertilización química, en la acumulación de nitratos en las hojas de la lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *trocadero*), conocida comúnmente como lechuga francesa.



II. Marco teórico

2.1 Agricultura convencional

La agricultura implica generalmente un fuerte proceso de transformación del paisaje, cambios en el flujo energético, homogeneización de especies y de hecho, desplazamiento o pérdida de la biodiversidad. La agricultura convencional ha multiplicado estos impactos negativos sobre el ambiente y la sociedad. La deforestación, las grandes represas, los canales de riego, la pérdida estructural del suelo, exportación de nutrientes, salinización, contaminación con fertilizantes y plaguicidas se cuentan entre algunos de los impactos, y que tiene origen en la llamada Revolución Verde. La gravedad generada en la salud, de miles de campesinos, agricultores y ciudadanos en todo el mundo, demuestran cabalmente que los costos de la intensificación de la agricultura, superan a los beneficios en términos de productividad alcanzados (Pengue, 2005).

La agricultura convencional se basa en dos objetivos: la maximización de la producción y de las ganancias. Para alcanzar estos objetivos se han desarrollado prácticas que no consideran las poco entendidas consecuencias a largo plazo ni la dinámica ecológica de los agroecosistemas. Las seis prácticas básicas que constituyen la columna vertebral de la agricultura moderna son: labranza intensiva, monocultivo, irrigación, aplicación de fertilizantes inorgánicos, control químico de plagas y manipulación genética de los cultivos (Gliessman, 2002).

Los incrementos productivos derivados de la Revolución Verde fueron acompañados por una serie de impactos adversos tanto en las cuestiones ambientales como sociales (Pengue, 2005), después de muchos años de Revolución Verde, se puede observar que los suelos agrícolas se transformaron en simples sustratos de sustentación de plantas que exigen técnicas artificiales cada vez más caras, y el síntoma más aparente de degradación que observamos es la erosión. El uso indiscriminado de agrotóxicos y fertilizantes químicos han esterilizado el suelo, reduciendo al mínimo la actividad microbiana y la fauna del suelo, al igual que el uso de la maquinaria agrícola ha destruido la fauna, misma que ayudaba a controlar otros seres vivos que podían causar daño a los cultivos (Ceccon, 2008).

En contraste con la agricultura industrial, desde hace unos años ha comenzado a tomar fuerza un nuevo tipo de agricultura basada en principios más naturales y seguros para el ambiente y la sociedad; a este enfoque alternativo se lo conoce como “agricultura ecológica” (Cáceres, 2002).



2.2 Agricultura ecológica

Por los impactos ambientales, económicos y sociales asociados a las prácticas de la agricultura convencional, en la actualidad existe una búsqueda de tecnologías limpias de producción que sean menos dañinas para el medio ambiente, que permitan generar productos libres de contaminantes, para así lograr una agricultura más sustentable (Céspedes, 2005).

Son pocas las actividades productivas que buscan reducir el riesgo de no contaminar y degradar el medio ambiente: la agricultura ecológica es una de estas actividades ya que utiliza prácticas de conservación y mejoramiento de la fertilidad del suelo (Pérez, 2004).

La agricultura ecológica crea agroecosistemas cuyo objetivo fundamental es la obtención de alimentos de máxima calidad nutritiva, respetando el medio ambiente y conservando la fertilidad de la tierra y la diversidad genética, mediante la utilización óptima de recursos renovables y sin el empleo de productos químicos de síntesis, procurando así un desarrollo agrario perdurable (Riechmann, 2000).

Las prácticas que la fundamentan, pueden resumirse de la forma siguiente (Martínez, 2008):

- ❖ Respetar los ciclos naturales de los cultivos, evitando la degradación y contaminación de los ecosistemas. Favorece la biodiversidad y el equilibrio ecológico a través de diferentes prácticas como por ejemplo: rotaciones de cultivos, asociaciones y abonos (no químicos).
- ❖ Genera más fertilidad en los suelos e incrementa la capacidad de producción del sistema agrario. Recicla los nutrientes del suelo incorporando nuevos abonos orgánicos y nutrientes que sirvan en la nueva siembra, siguiendo la premisa de que “lo que sale de la tierra debe volver a ella”.
- ❖ Aprovecha y utiliza al máximo los bienes naturales, favorece el flujo de energía donde las plantas verdes captan la energía del sol, moviendo todo el ecosistema.
- ❖ No incorporan a los alimentos sustancias o residuos que resulten perjudiciales para la salud o que mermen su capacidad alimenticia. La incorporación de sustancias de síntesis en el cultivo o producción de alimentos no es necesaria debido a los abonos orgánicos y a las rotaciones de cultivos, así que todo aquello que resulta ajeno al organismo no es necesario.
- ❖ Aporta a los animales unas condiciones de vida adecuadas. No los manipula artificialmente o de manera intensiva para conseguir una mayor producción, sino que los utiliza correctamente que como se debería hacer. Además, aumenta las variedades autóctonas, mejor adaptadas a las condiciones de la zona.



Por su origen esta agricultura surge desde una concepción integral, donde se involucran elementos técnicos, sociales, económicos y agroecológicos. Es una opción integral de desarrollo capaz de consolidar la producción de alimentos saludables en mercados altamente competitivos y crecientes, rescatando las prácticas tradicionales de producción (Soto, 2003).

2.3 Abonos orgánicos

La modernización de la agricultura demanda una gran variedad de insumos con mayor complejidad en su composición química, así como dispositivos y nueva maquinaria, los cuales junto con la intensificación de la mecanización han impactado de forma desfavorable sobre el ambiente y la calidad de los alimentos generados. Ante esta problemática, la fertilización con abonos orgánicos ha vuelto a recibir la atención de los productores (Moreno, García, Cano, Martínez, Márquez y Rodríguez, 2014).

Los abonos orgánicos han sido catalogados principalmente como enmiendas o mejoradores de suelo (Castro, Henríquez y Bertsch, 2009), los abonos orgánicos (estiércoles, compostas y residuos de cosecha) se han recomendado en aquellas tierras sometidas a cultivo intenso para mantener y mejorar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de humedad y facilitar la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (López, Díaz, Martínez y Valdez, 2001).

La capacidad de suplemento de nutrientes de los abonos orgánicos a los cultivos depende de las propiedades de la materia prima, proceso de elaboración, grado de mineralización de los materiales y condiciones imperantes en campo para su consecuente descomposición (Evanylo, Sheron, Spargo, Starner, Brosius, y Haering, 2008).

A largo plazo los abonos mejoran el contenido de los nutrientes y la estructura del suelo, estabilizan el pH y fomentan un círculo natural de fijación, descomposición y liberación de los nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos. Así, mejoran la productividad de un terreno sin grandes inversiones económicas. Un sistema diversificado, con un suelo rico en materia orgánica y biológicamente activo, se considera un sistema no degradado y productivo (Bertolí, Terry y Ramos, 2015).

Los abonos orgánicos son muy variables en sus características físicas y composición química principalmente en el contenido de nutrimentos; la aplicación constante de ellos, con el tiempo, mejora las características físicas, químicas, biológicas y sanitarias del suelo (Trinidad, 2015).



2.3.1 Bocashi

El bocashi es un abono orgánico fermentado de origen japonés, que significa “materia orgánica fermentada”. Este abono se deja descomponer en un proceso aeróbico de materiales de origen animal o vegetal. Su uso activa y aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrimentos. Incorpora al suelo materia orgánica y nutrientes esenciales como, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro; este abono tiene como objetivo estimular la vida microbiana del suelo y la nutrición de las plantas (Ramos, Terry, Soto, y Cabrera, 2014).

La elaboración de los abonos orgánicos fermentados como el bocashi se puede entender como un proceso de semidescomposición aeróbica de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los propios residuos, como hongos, bacterias, actinomicetos, que brindan al suelo mejores condiciones de sanidad. Es un abono que se puede elaborar con materiales locales, por lo que se pueden hacer variaciones de acuerdo a la materia prima disponible en la región (Ramos y Terry, 2014).

Para la elaboración del bocashi se requiere esencialmente la siguiente materia prima: residuos vegetales que son una fuente rica de nutrimentos para los microorganismos; la melaza que sirve como fuente de energía para los microorganismos que descomponen los materiales orgánicos, además provee cierta cantidad de boro, calcio y otros nutrimentos; la levadura es la principal fuente de inoculación microbiológica; el suelo provee los microorganismos necesarios para la transformación de los desechos y le proporciona una mayor homogeneidad física al abono; el carbón que contribuye a mejorar las características físicas del abono como la aireación, absorción de calor y humedad, también actúa como una esponja reteniendo, filtrando y liberando poco a poco los nutrimentos (Ramos y Terry, 2014); el salvado aporta activación hormonal, nitrógeno y es muy rica en otros nutrientes muy complejos cuando sus carbohidratos se fermentan, los minerales, tales como fósforo, potasio, calcio y magnesio también están presentes; la cal que funciona principalmente para regular la acidez que se presenta durante todo el proceso de la fermentación, y el estiércol que es la principal fuente de nitrógeno en la elaboración de estos abonos fermentados (Restrepo, 2007).

En el bocashi, el compostaje es más rápido que en un compost tradicional, y las transformaciones se realizan a menor temperatura (inferior a 50 °C) y en un tiempo más corto (de 1 a 3 semanas). Se voltea con más frecuencia (dos veces por día). Los materiales son más ricos en nitrógeno y en sustancias solubles que en el compost (Garro, 2016).



2.3.2 Composta

El compostaje es la descomposición microbiana de una mezcla de materias orgánicas ricas en carbono con otras ricas en nitrógeno. Se debe tener claro que los microorganismos (hongos, bacterias, levaduras) responsables de las transformaciones bioquímicas son aeróbicos, por lo tanto, la aireación constituye un factor crítico (Garro, 2016). Este proceso requiere de condiciones adecuadas de oxígeno, humedad y temperatura.

Más que un abono, la composta es un mejorador de la aireación y el drenaje, aumenta la cantidad de microorganismos y de nutrimentos en el suelo. Para obtener una buena composta, es muy importante la relación entre las fuentes de carbono o fibra y las fuentes de nitrógeno. Esta relación debe ser de tres a uno, es decir, tres partes de fuente de carbono para cada parte de fuente de nitrógeno (Calvo y Villalobos, 2010).

La composta no tiene una composición de insumos externos, ya que se puede usar todo material que sea natural y local, lo que resulta más económico, se pueden aprovechar los desechos que se producen en la propia parcela, finca u hogar (Calvo y Villalobos, 2010). El aprovechamiento de los desechos orgánicos hoy en día representa una alternativa de importancia tecnológica, ecológica y económica para la obtención de composta, el cual puede ser utilizado como fertilizante orgánico y mejorador de los suelos, tanto en huertos familiares como en invernaderos (Vázquez, García, Navarro y García, 2015).

Para la elaboración de una composta se usan los residuos de origen vegetal que provienen de desechos que sobran de las cosechas tanto en los grandes campos de cultivos como en las pequeñas unidades de producción, es decir todo desecho agrícola, forestal u ornamental; dentro de los materiales orgánicos de origen animal podemos mencionar el estiércol de ovinos, bovinos, equinos, caprinos y porcinos, mismos que son ricos en amoníaco y los desechos producidos en el hogar, estos materiales pueden provenir de las frutas, las verduras y algunos de los productos procesados (Cabrera y Contreras, 2005).

La composta una vez elaborada, o madura, presenta un color oscuro, consistencia porosa y aroma agradable a tierra. La composta posee nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Cabrera y Contreras, 2005).

2.4 Fertilizantes químicos

Un fertilizante es cualquier material inorgánico natural o sintético que suministre a las plantas uno o más de los elementos químicos necesarios para su normal crecimiento y que son agregados generalmente a través del suelo, el agua o aspersiones foliares (Meléndez y Molina, 2003). El desarrollo de la agricultura convencional se ha regido por



una producción cada vez más intensa, contribuyendo al uso indiscriminado de fertilizantes y otros productos químicos y de prácticas culturales que han propiciado la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación del suelo, en menoscabado de la calidad de alimentos y de la calidad ambiental (Hernández, Ojeda, López y Arras, 2010).

La producción de alimentos en un mundo globalizado requiere de la mayor eficacia, además de ajustarse a las leyes de inocuidad para lograr que los productos logren la aceptación de los mercados nacionales y mundiales. Los sistemas de agricultura convencional están basados en la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes y en muchos casos no se tienen en cuenta los mecanismos de absorción de la planta, los equilibrios existentes entre ésta y el suelo, ni los bloqueos o sinergias entre los nutrientes; debido a que las plantas sintetizan sus alimentos a partir de elementos químicos que toman del aire, agua y suelo (Didier, Mosquera y Torrente, 2015).

La inclinación de los productores a aplicar grandes cantidades de fertilizantes químicos, especialmente nitrogenados, para asegurar altos rendimientos de productos hortícolas de buena calidad comercial, es una iniciativa que puede ser sana desde una perspectiva económica, pero no desde el punto de vista ambiental; pues a menudo, cantidades de nitrógeno y fósforo permanecen en el suelo después de la cosechas, pudiendo afectar la calidad del agua, mediante la percolación y escorrentía de nitratos y fosfatos y la calidad del aire por emisión de óxido nitroso (Añez y Espinoza, 2003).

La contaminación por fertilizantes químicos, se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. El exceso de fertilizantes nitrogenados ha generado problemas ambientales y el más importante, es la acumulación de nitratos en el subsuelo que, por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y reservorios superficiales (González, 2011).

El uso intensivo e indiscriminado de agroquímicos y fertilizantes de síntesis química, ha promovido diversos problemas ambientales, como la contaminación de alimentos, el agua y el suelo, desequilibrios biológicos (eliminación de organismos benéficos, eutrofización y surgimiento de resistencia de patógenos y plagas), y reducción de la diversidad (Didier *et al.*, 2015).

2.5 Importancia del nitrógeno en la planta

Entre los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas el N es considerado el más importante, por ser el que se encuentra en mayor proporción, 1 a



3% con respecto a su materia seca, dependiendo de la especie, de la etapa fenológica, del órgano, etc. Las funciones del N son de tipo estructural y osmótico. Las primeras son específicas y se relacionan con la síntesis de moléculas esenciales para el crecimiento, como ácidos nucleicos, aminoácidos, proteínas, clorofilas y alcaloides. La función osmótica está asociada al efecto del ion nitrato y a otras formas reducidas del N, en la reducción del potencial hídrico (Ψ_w) de la vacuola, dentro del proceso de osmorregulación (Cárdenas, Sánchez, Farías y Peña, 2004).

En la planta, el N se distribuye en tres grupos: más del 50% se halla en compuestos de elevado peso molecular (proteínas y ácidos nucleicos); el resto, en forma de N orgánico soluble (aminoácidos, amidas, aminos...) N inorgánico (principalmente iones nitrato y amonio). Su contenido en el total del peso seco de la planta oscila entre el 1.5 y el 5% (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Las plantas que contienen una cantidad de N que limita su crecimiento muestran unos síntomas de deficiencia tal como una clorosis general, especialmente en las hojas más antiguas, en casos severos las hojas se vuelven completamente amarillas y después se queman, a media que van muriendo. Las hojas más jóvenes se conservan verdes durante más tiempo porque reciben alguna forma soluble de N, proveniente de las hojas más antiguas. Por el contrario las plantas que crecen con un exceso de nitrógeno suelen tener hoja con un color verde oscuro y presentan abundante follaje, generalmente con un sistema radical de tamaño mínimo y, por ello con una proporción entre la zona aérea y la raíz muy elevada (Salisbury y Ross, 2000).

2.6 Asimilación del nitrógeno

2.6.1 Fuentes de nitrógeno para las plantas

En la atmósfera existen grandes cantidades de nitrógeno (78% en volumen) aunque, en términos energéticos, resulta difícil para los seres vivos obtener una forma utilizable de los átomos de nitrógeno (N_2). Aunque el nitrógeno penetra, junto con el CO_2 (dióxido de carbono) hacia las células de las hojas, solo existen enzimas para reducir el CO_2 , por lo que el N_2 , sale con la misma rapidez con la que entra. La mayor parte del nitrógeno llega a los seres vivos sólo después de su fijación (reducción) (Salisbury y Ross, 2000), a diferencia de otros elementos, el nitrógeno molecular no puede ser absorbido en este estado por las plantas, las formas iónicas de absorción de nitrógeno por la raíz son el nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+), que se fija simbióticamente por leguminosas y algunas otras familias de plantas. Gracias a microorganismos de géneros como *Rhizobium* y *Frankia* (Azcón-Bieto y Talón, 2008).



También se fija de manera no simbiótica en los microorganismos de vida libre de dos maneras importantes: como una reducción fotosintética del nitrógeno por las bacterias fotosintéticas o las algas verde-azules, y como un proceso no fotosintético que ocurre en ciertos microorganismos del suelo. Las algas fotosintéticas *Anabaena* y *Nostoc* pueden fijar el nitrógeno por una reacción esencialmente similar a la utilizada para fijar el dióxido de carbono (Bidwell, 2002).

La mayor parte del N llega a las plantas sólo después de su fijación (reducción) mediante microorganismos procariontes, y también con la fijación industrial en la manufactura de los fertilizantes. El ion NH_4^+ se origina en combustiones industriales, en la actividad volcánica y en los incendios forestales, mientras que el NO_3^- proviene de la oxidación de N_2 por el O_2 o por el ozono, en presencia de radiación ultravioleta o tormentas eléctricas, en este caso los relámpagos permiten que el N_2 se una al O_2 para formar NO_3^- ; éstos se unen también a las moléculas de agua y forman ácido nítrico, que se precipita al suelo con la lluvia y queda disponible para las plantas en forma de nitratos (Félix y Sevilla, 2008).

La absorción de NH_4^+ y NO_3^- que llevan a cabo los vegetales les permite formar numerosos compuestos nitrogenados, sobre todo proteínas. El estiércol, las plantas y los microorganismos animales muertos en descomposición son importantes fuentes de nitrógeno que vuelven al suelo y casi todos los suelos contienen pequeñas cantidades de diversos aminoácidos, producidos principalmente por la descomposición microbiana de la materia orgánica, aunque también debido a excreciones de las raíces vivas, en realidad, hasta un 90% del nitrógeno total de los suelos puede encontrarse en la materia orgánica (Salisbury y Ross, 2000).

2.6.2 Mineralización e inmovilización del nitrógeno

En el suelo, el N se encuentra tanto en formas orgánicas como inorgánicas. El N orgánico procede de los organismos vivos y forma parte de los componentes orgánicos que permanecen después de la muerte y descomposición de los organismos y el N inorgánico tiene que ver con todas las formas de N que se ha liberado de la mineralización de los componentes orgánicos (Powers y McSorley, 2001).

Se denomina mineralización al proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos del suelo a formas inorgánicas. El primer producto de la mineralización es el amoníaco (NH_3) (Celaya y Castellanos, 2011). El paso inverso de la mineralización es la inmovilización, en el cual el nitrógeno orgánico se queda concentrado en los tejidos microbianos y el N no está a disposición de las raíces de las plantas de los cultivos (Powers y McSorley, 2001).



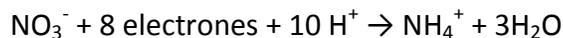
Las bacterias del suelo son responsables de la inmovilización y mineralización de N del suelo y de los procesos que controlan el suministro de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) para las plantas. La mineralización ocurre en dos etapas: la primera, en la que los microorganismos transforman los componentes de N orgánico en NH_4^+ , y la segunda, en la que se sintetiza nitrato (NO_3^-) a partir del amonio. Más específicamente, los microorganismos convierten el N orgánico en NH_4^+ , a través de un proceso llamado amonificación, y después transforman el NH_4^+ a NO_3^- , en un proceso denominado nitrificación (Gutiérrez, Cardona y Monsalve, 2017).

La amonificación se caracteriza por ser una etapa de reacción lenta, que tiene lugar en presencia o ausencia de oxígeno, en medio neutro o alcalino, y consiste en la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal, conformada por la actividad de la flora microbiana del suelo (bacterias, hongos actinomicetos etc.). Por su parte la nitrificación ocurre con rapidez, bajo condiciones exclusivamente aeróbicas, desarrollada en dos fases, dependiente cada una de diferentes grupos de bacterias, oxidando primero al amonio (NH_4^+) por la acción de las *Nitrosomonas* hasta nitrito (NO_2^-), y luego hasta nitrato (NO_3^-) por las *Nitrobacter*, reacción que tiene lugar a mayor velocidad que la primera con lo que se evita que el NO_2^- pueda alcanzar concentraciones tóxicas para las plantas (Rodríguez, 2002).

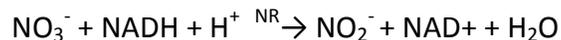
La mineralización y los procesos relacionados con ella producen el reciclaje de N orgánico en formas que pueden usarse para satisfacer las necesidades nutricionales de las plantas. La descomposición de compuestos de N orgánico representa una fuente de energía para las bacterias y los hongos que intervienen en la descomposición (Powers y McSorley, 2001).

2.6.3 Metabolismo del nitrógeno en la planta

Las plantas absorben del suelo el nitrógeno mayoritariamente en forma de NO_3^- y son capaces de reducirlo a NH_4^+ . El proceso global de la reducción de NO_3^- a NH_4^+ depende de la energía y se resume en la siguiente reacción (Salisbury y Ross, 2000):

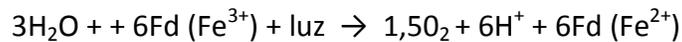


La reducción del nitrato se realiza mediante dos reacciones distintas y catalizadas por enzimas diferentes. La primera reacción se cataliza mediante la nitrato reductasa (NR), una enzima que transfiere dos electrones procedentes del NADH o, en algunas pocas especies, del NADPH. Los productos son nitrito (NO_2^-), NAD^+ (o NADP^+) y H_2O :

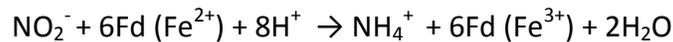


Esta reacción se produce en el citosol, fuera de cualquier orgánulo. La actividad de la NR se ve afectada por diversos factores. Uno de ellos es la velocidad de su síntesis, y otro es la tasa de degradación de las enzimas que digieren proteínas. Al parecer la NR se sintetiza y degrada continuamente, de manera que estos procesos controlan la actividad de la enzima regulando la cantidad de NR en las células. Los niveles elevados de NO_3^- en el citosol aumenta la actividad de la NR, en gran parte porque es más rápida la síntesis de la enzima. También en las hojas y en los tallos aumenta la actividad de esta enzima cuando el NO_3^- se encuentra disponible.

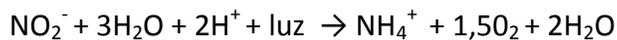
La segunda reacción del proceso global de la reducción del nitrato implica la conversión de nitrito a NH_4^+ . El nitrito que se origina en el citosol por la acción de la nitrato reductasa se transporta a los cloroplastos en las hojas o a los protoplastidios de las raíces, donde se realiza una subsecuente reducción a NH_4^+ , catalizada por la nitrito reductasa. En las hojas, la reducción de NO_2^- a NH_4^+ necesita seis electrones, que se obtienen a partir del H_2O mediante el sistema de transporte acíclico de electrones del cloroplasto:



Durante esta transferencia de electrones, la luz induce el transporte de electrones desde el H_2O a la ferredoxina (Fd); a continuación, a ferredoxina reducida proporciona los seis electrones que se utilizan para reducir NO_2^- a NH_4^+ :



En este paso se efectúa el empleo neto de dos H^+ para el proceso global de la reducción de nitrato a NH_4^+ :



Diversas señales regulan la síntesis y la actividad de la NR y la NiR de forma coordinada. Los tejidos verdes de la planta poseen mucho más actividad NiR que NR, probablemente con el fin de asegurar que todo el nitrito producido por la NR sea reducido, evitando así su acumulación y los consiguientes efectos tóxicos y estos mecanismos de regulación de síntesis y degradación antes descritos pueden tardar horas en producirse (Azcón- Bieto y Talón, 2008).

2.7 Nitratos en las hojas de las hortalizas de hoja verde y su relación con la salud

El nitrato está presente en diversos alimentos, siendo las principales fuentes, los productos vegetales y el agua potable. En lo que respecta a los productos vegetales, existen algunas especies que tienen gran capacidad de acumulación de nitrato, como son



las hortalizas de hoja verde, espinaca, acelga, lechuga y endivia que tienden a acumular nitratos en las hojas (Maita, 2018).

La presencia de nitratos en el metabolismo del ser humano no es peligrosa, el principal problema radica en que los nitratos pueden ser reducidos a nitritos en el interior del organismo humano. El nitrato termina convirtiéndose, en el estómago, en nitrito. La ruta no es directa, sino que implica la absorción en las partes próximas del intestino delgado, el transporte por vía sanguínea y la secreción a través de la saliva (Raigón, 2007).

En la saliva ocurre la reducción a nitrito por acción de bacterias de la cavidad oral. Las verduras de la dieta son la fuente principal, ya que representan el 60-70% de la ingesta de nitratos al día en personas, dependiendo del tipo de dieta. Una vez que se ingiere, el nitrato se absorbe rápidamente a nivel gastrointestinal y se mezcla con el nitrato sintetizado endógenamente, proveniente principalmente de la oxidación del NO. La mayor parte del nitrato en última instancia se excreta por la orina (Moreno, Soto y González, 2015).

El nitrato es reducido a nitrito por las bacterias de la saliva y también en el estómago. La formación de nitritos a partir de nitratos se realiza en el estómago y se incrementa cuando aumenta el pH, lo que ocurre como consecuencia de la infección crónica por *Helicobacter pylori* (Hp). Bajo circunstancias específicas, como la gastritis crónica, los nitritos pueden oxidarse en el estómago a agentes nitrosantes (N_2O_3 , N_2O_4) y reaccionar con aminas secundarias para formar N-nitrosocompuestos (Jakszyn, 2006).

Los N-nitrosocompuestos son agentes teratógenos, mutágenos y probables carcinógenos, peligrosos para la salud humana. Se originan como consecuencia de la reacción de las aminas secundarias (aromáticas y alifáticas) con el ácido nitroso HNO_2 . Los N-nitrosocompuestos exógenos aparecen en los estudios de investigación clínica como causantes de tumores. Las fuentes principales de éstos N-nitrosocompuestos exógenos (p.e. las nitrosaminas), son el humo del tabaco, los cosméticos y los productos alimenticios (Vargas *et al.*, 2014).

Cuando el NO_3^- ingerido puede ser reducido a NO_2^- por la microflora del tracto digestivo y ser absorbido por las paredes del intestino hacia el torrente sanguíneo, el NO_2^- puede transformar el ión ferroso de la hemoglobina en ión férrico y de esta forma se produce metahemoglobina, la cual es incapaz de transportar oxígeno causante de la enfermedad conocida como metahemoglobinemia. Esta enfermedad es más común en niños menores de 12 años, debido al aumento del pH en el estómago, ocasionando la oxidación de la



hemoglobina que disminuye la captación de oxígeno, produciendo cianosis (Calleros *et al.*, 2012).

Ningún problema de salud es causado directamente por los nitratos, ya que por su solubilidad son rápidamente excretados por el organismo y sólo elevadas concentraciones pueden causar toxicidad, al igual que algunos de sus subproductos metabólicos tales como el NO₂, las nitrosaminas y nitrosamidas que pueden ser tóxicas para el humano y animales en general. (Beretta, 2011).

La legislación mexicana carece de un decreto que regule los contenidos máximos de nitratos y nitritos en hortalizas para consumo humano, la única legislación más próxima es la Norma Oficial Mexicana (con carácter de emergencia), requisitos y especificaciones para la aplicación y certificación de buenas prácticas agrícolas en los procesos de producción de frutas y hortalizas frescas (NOM-EM-034-FITO-200). Para regular las hortalizas mexicanas se puede consultar la Legislación de la Unión Europea (Cuadro 1), que presenta valores máximos de nitratos para lechugas.

Cuadro 1. Contenido máximo de nitratos en las lechuga (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006).

<i>Tipo de cultivo</i>	<i>Período de cosecha</i>	<i>mg NO₃⁻ /kg</i>
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Recolectadas entre 1 de octubre y 31 de marzo:	
	*Lechugas cultivadas en invernadero	4.500
	*Lechugas cultivadas al aire libre	4.000
	Recolectadas entre 1 de abril y 30 de septiembre:	
	*Lechugas cultivadas en invernadero	3.500
	*Lechugas cultivadas al aire libre	2.500
Lechuga tipo "iceberg"	*Lechugas cultivadas en invernadero	2.500
	*Lechugas cultivadas al aire libre	2.000



2.8 Trabajos relacionados con el tema

Actualmente existen diversos trabajos sobre los efectos de los nitratos en la salud, ya que éstos están tomando cada vez más fuerza como parámetro de calidad del alimento, por lo que es importante mencionar algunas investigaciones relacionadas con el presente estudio.

Raigón, García, Guerrero y Esteve (2006), en su trabajo “Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en la lechuga” analizan la concentración de nitratos, nitrógeno total, proteínas, clorofila además de tres de los cofactores que intervienen en la reducción del nitrato (sodio, hierro y molibdeno) e intentan establecer la correlación existente entre los mismos, todo esto en el material vegetal de la parte externa e interna de la lechuga (*Lactuca sativa* L.), del tipo romana variedad valladolid, y en dos tipo de cultivo (ecológico y convencional). De los resultados obtenidos, se concluye que en las lechugas procedentes del sistema agronómico ecológico, se obtiene una mayor eficacia en el proceso de transformación del nitrógeno absorbido a proteínas, además de producir una menor acumulación de nitratos frente a las lechugas procedente del sistema de producción convencional.

Ollúa, Logegaray y Chiesa (2016), en su estudio “Concentración de nitratos en dos tipos comerciales de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con distintas fuentes nitrogenadas”, evaluaron la respuesta del cultivo de lechuga a dosis crecientes de nitrógeno aplicado como urea y al agregado de lombricomposta, sobre la concentración de nitratos en dos tipos comerciales (hoja suelta y mantecosa) y en dos épocas de producción: otoño-invierno y primavera, durante el cultivo y al momento de la cosecha se determinó la concentración de NO_3^- por colorimetría. En los resultados se observó un nivel decreciente de nitratos para ambos ensayos durante el período invernal y que el genotipo influyó en la concentración de nitratos, según tratamientos y épocas.

Sánchez, Siliquini, Gili, Baudino y Morazzo (2012), en su investigación “Contenido de nitratos y proteína en lechuga crespa y amaranto hortícola producidos con enmienda y urea”, evaluaron la acumulación de nitratos en lechuga crespa y amaranto, se aplicaron cuatro niveles de fertilización 1) Abono base: $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ de estiércol medianamente compostado, 2) Abono doble: $20 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ de estiércol medianamente compostado, 3) Abono base + $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de urea y 4) Abono base + $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de urea. En los resultados se obtuvieron diferencias significativas en el contenido de nitratos entre ambas especies. Los tratamientos de enmienda con base en abono y urea ejercieron un efecto positivo en la acumulación de NO_3^- en ambas hortalizas. Los menores valores de NO_3^- se obtuvieron con



el agregado de $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ de estiércol con dos meses de compostaje y $10 \text{ dm}^3 \cdot \text{m}^{-2}$ de estiércol + $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de urea para ambas especies.

2.9 Características generales del cultivo de la lechuga

2.9.1 Origen

Es la hortaliza más importante del grupo de los vegetales de hojas que se consumen crudas en ensaladas. Es ampliamente conocida en el mundo y se cultiva en casi todos los países. Esta planta herbácea es originaria de la cuenca del Mediterráneo y utilizada por los egipcios desde hace 3.000 años, los griegos y los egipcios conocieron también la lechuga y para el siglo IV al siglo V a. C., los persas la cultivaban (Durán, 2005).

Lactuca sativa fue descrita por el científico naturalista sueco Carlos Linneus en el año 1753, texto que fue publicado en *Species Plantarum*. *Lactuca* es un nombre genérico que procede del latín *lac* (que significa “leche”), que se refiere al líquido lechoso, o de apariencia láctea, que es la savia que exudan los tallos de esta planta al ser cortados y, *sativa* es un epíteto que hace referencia a su carácter de especie cultivada (Saavedra, 2017).

2.9.2 Clasificación taxonómica

La lechuga pertenece a la familia dicotiledónea más grande del reino vegetal, la *Asteraceae*, conocida anteriormente como *Compositae*. La lechuga presenta una gran diversidad, dado principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Su clasificación es la siguiente (Saavedra, 2017):

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Asterales
Familia:	Asteraceae
Subfamilia:	Cichorioideae
Tribu:	<i>Lactuceae</i>
Género:	<i>Lactuca</i>
Especie:	<i>Lactuca sativa</i> L.
Variedad:	<i>var. trocadero</i>



2.9.3 Características botánicas de la lechuga

La lechuga es una planta herbácea anual, de rápido crecimiento, que cuando se encuentra en su etapa juvenil contiene en sus tejidos un jugo lechoso de látex, cuya cantidad disminuye con la edad de la planta. La raíz es pivotante, corta y con ramificaciones y presenta una raíz principal que llega a medir hasta 1.80 m por lo cual se explica su resistencia a la sequía. Presenta un tallo cilíndrico y ramificado (Durán, 2005).

Las hojas son grandes, brillantes, lisas o crespas, de color verde, pasando por el amarillo hasta el rojo. Su disposición en el tallo es variable puesto que en algunas especies las hojas se mantienen desplegadas y abiertas; y en otras, en cierto momento de su desarrollo, las hojas se expresan de tal manera que forman una cabeza o cogollo más o menos consistente y apretada (Cabrera, 2009).

Sus flores están agrupadas en ramilletes o corimbos de color amarillo pálido y las semillas son largas (4-5 mm), su color por lo general es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas casi nunca germinan, debido a la impermeabilidad que las semillas muestran en presencia del oxígeno (Durán, 2005).

Las lechugas presentan gran diversidad debido principalmente a diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento (Sánchez, 2004).

En esta investigación se utilizó la lechuga *Lactuca sativa* L. var. *trocadero* (Fig.1), que presenta hojas de color verde, brillantes y de márgenes lisos, de consistencia mantecosa y textura correosa, desarrolla una inflorescencia provista de flores amarillas y sus semillas son de color verde oscuro.



Figura 1. Lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *trocadero*)



2.9.4 Requerimientos agroecológicos para el cultivo

Los suelos recomendados para la siembra de la lechuga son los de alta fertilidad (alto contenido de materia orgánica), de buen drenaje con alta capacidad de retención de humedad y un pH entre 7 y 7,5. El suelo debe ser trabajado en profundidad (labores verticales hasta 30 cm) para lograr buen drenaje y favorecer el lavado de las sales del agua de riego y de la fertilización. Antes de la siembra debe desmenuzarse bien el terreno, especialmente teniendo en cuenta el pequeño tamaño de la semilla y la profundidad a la que deberá colocarse la misma, que no excederá los 0,5 cm. La nivelación es un aspecto muy importante que deberá tenerse presente en la preparación del suelo, ya que de lo contrario ocurren encharcamientos que predisponen la instalación de un complejo de enfermedades fúngicas, como *Sclerotinia*, entre otras (Briones, 2007).

Para la siembra, se suelen hacer semilleros y luego hacer el trasplante directamente al suelo. La distancia de plantación se sugiere en hileras de 30 cm y 20-30 cm entre plantas. Algunas variedades de lechuga tienen semillas que requieren luz para su germinación. Estos tipos de semilla no se deben cubrir con tierra, pero se deben presionar simplemente para que tengan buen contacto con la tierra finamente preparada. La semilla de lechuga no resiste un almacenamiento prolongado y es recomendable obtener nuevas semillas (Briones, 2007).

La lechuga es una hortaliza típica de clima suave (15-20°C) debido a su origen. En las condiciones de clima tropical se desarrolla mejor durante las épocas del año en que las temperaturas son moderadas. La temperatura media óptima para el desarrollo de la parte aérea de la planta está entre 15 y 18°C, con máximas de 21 a 24°C y mínimas de 7° C (Vallejo y Estrada, 2004).

La cosecha se realiza a las 8 a 11 semanas después de trasplante, dependiendo de la variedad y el clima. Deben ser cortadas sobre el cuello de la raíz, y es recomendable cosechar en las primeras horas del día y protegerlas bajo sombra inmediatamente y refrigerarlas para evitar pérdidas de agua, que se reflejan posteriormente en lechugas con poca firmeza y turgencia, además de un deterioro en la apariencia (Saavedra, 2017).

Las principales plagas del cultivo de la lechuga Falso medidor (*Trichoplusia ni*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*), ambas especies son palomillas migrantes, cuya larva al alimentarse de las hojas disminuyen considerablemente el área foliar. Al coincidir altas poblaciones de larvas con las primeras etapas de desarrollo de las plantas, pueden causar retraso en el crecimiento y desuniformidad en la maduración del cultivo. Pulgón de la lechuga (*Nosonovia ribisnigr*), pulgón verde (*Myzus persicae*), el pulgón de la lechuga



coloniza el ápice de la planta antes de que forme la cabeza, iniciando en las hojas más jóvenes hacia afuera, el principal daño del pulgón de la lechuga es la contaminación del centro de las plantas (SAGARPA, 2011).

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), produce una maleza que deteriora las hojas, dando lugar a un debilitamiento general de la planta y el trips (*Frankliniella occidentalis*), es una de las plagas que mayor daño causa al cultivo de la lechuga, la presencia de este virus empieza por provocar grandes necrosis foliares, y estas acaban muriendo rápidamente (Durán, 2005).

2.9.5 Contenido nutricional

La lechuga es importante por el aporte de minerales y vitaminas. Es una gran fuente de calcio, hierro y vitamina A; proporciona poca energía, proteína, ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina, B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina. La lechuga es el ingrediente básico en dietas hipocalóricas (Durán, 2005). La composición nutrimental (Cuadro 2) por cada 100 gramos de lechuga (Alzate y Loaiza, 2008):

Cuadro 2. Composición nutrimental de la lechuga por cada 100 g

Componente	Cantidad (%)
Agua	9.4
Proteínas	1.3
Grasas	0.2
Hidratos de carbono	3.0
Celulosa	0.7
Potasio	0.2509
Sodio	0.012
Calcio	0.030
Magnesio	0.026
Fósforo	0.047
Azufre	0.021
Cloro	0.062
Hierro	0.0007
Zinc	0.0005
Manganeso	0.0006
Flúor	0.00003
Cobre	0.00009



III. Pregunta de investigación

Este trabajo se diseñó para responder a la siguiente pregunta:

¿Se reduce la acumulación de nitratos en las hojas internas, intermedias y externas de la lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *trocadero*) cultivada con abonos orgánicos bocashi y composta, comparada con la cultivada con fertilización química?

IV. Hipótesis

El abono orgánico que presente una menor concentración de nitrógeno, proporcionará una menor cantidad de nitratos disponible para el crecimiento de la lechuga *francesa*, al igual que una menor acumulación de nitrato en sus hojas (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

V. Justificación

Actualmente, las hortalizas cultivadas con fertilizantes químicos, presentan cantidades de nitratos en hojas, que exceden los límites permisibles para el consumo humano (Diario Oficial de la Unión Europea, 2006). La literatura (Raigón, 2007) cita que los nitratos per se, no son riesgosos para la salud humana, sin embargo su reducción en el tracto digestivo a nitritos, puede ser un factor determinante en enfermedades como el cáncer y, en menores de 12 años en la manifestación de la enfermedad conocida como metahemoglobinemia.

Es importante buscar alternativas de producción de alimentos que no contengan nitratos en exceso y remanentes de fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas, dañinos para la salud del hombre y para el ambiente. Una alternativa es la Agricultura Orgánica que utiliza abonos orgánicos para la producción vegetal, los cuales aportan grandes cantidades de materia orgánica al suelo, la cual es un alimento esencial para los microorganismos transformadores de las diferentes formas químicas del nitrógeno en el sistema edáfico, lo cual es fundamental para regular las concentraciones del ion nitrato en la solución del suelo y evitar su acumulación en las hojas de las hortalizas.



VI. Objetivos

6.1 Objetivo General

- ❖ Evaluar el contenido de nitratos en hojas de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *trocadero*) cultivada bajo fertilización orgánica y química.

6.2 Objetivos Específicos

- ❖ Determinar la calidad nutrimental (N, P, K) de los abonos orgánicos composta y bocashi.
- ❖ Evaluar el contenido de nitratos en hojas de lechuga *francesa*, cultivada con dos abonos orgánicos, composta y bocashi.
- ❖ Determinar el contenido de nitratos en hojas de lechuga *francesa* cultivada con fertilización química.
- ❖ Determinar la calidad morfológica y fisiológica de las lechugas cultivadas con fertilización orgánica vs. química.



VII. Método

7.1 Área de estudio

El estudio se realizó en el Vivero del Centro de Capacitación en Agricultura Urbana Ecológica Chimalxochipan (CCAUCH) de la Unidad de Investigación en Ecología Vegetal, en el campo II de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES-Z) (Fig.2).



Figura 2. Centro de Capacitación en Agricultura Urbana Ecológica “Chimalxochipan”.



7.2 Elaboración de los abonos orgánicos

Se elaboraron dos tipos de abonos utilizados actualmente en la agricultura ecológica (bocashi y composta) (Anexo 13.1), considerando la técnica e insumos propuestos por el CCAUCH de la FES Zaragoza, de la UNAM.

7.3 Calidad de los abonos orgánicos

7.3.1 Calidad del abono orgánico bocashi

Para determinar la calidad del abono orgánico bocashi se utilizó la siguiente metodología (NOM -021):

- ❖ **pH:** potenciométrico en relación a la muestra: agua, 1.5.
- ❖ **Conductividad eléctrica (CE):** puente de conductividad en relación muestra: agua, 1.5.
- ❖ **Materia orgánica (MO):** por calcinación
- ❖ **Nitrógeno inorgánico (N):** digerido con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor Kjeldahl.
- ❖ **Fósforo (P):** digerido con mezcla diácida y determinado por fotolorimetría por reducción con molibdo-vanadato.
- ❖ **Potasio, Sodio (K, Na):** digerido con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.
- ❖ **Calcio, Magnesio (Ca, Mg):** digeridos con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.
- ❖ **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 y determinado por arrastre de vapor.
- ❖ **Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso (Fe, Cu, Zn, Mn):** digerido con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.
- ❖ **Boro (B):** digerido con mezcla diácida y determinado por fotolorimetría con azometina-H.
- ❖ **Densidad aparente (DAP):** método de la probeta.
- ❖ **Relación C/N:** estimado por cálculo.

7.3.2 Calidad del abono orgánico composta

Para realizar la calidad del abono orgánico composta se usó la siguiente metodología (NOM-021):

- ❖ **pH:** potenciométrico en relación a la muestra: agua, 1.5.



- ❖ **Conductividad eléctrica (CE):** puente de conductividad eléctrica en suspensión muestra: agua, 1.5.
- ❖ **Materia orgánica (MO):** por calcinación
- ❖ **Nitrógeno inorgánico (N):** digerido con mezcla diácida y determinado por arrastre de vapor Kjeldahl.
- ❖ **Fosforo (P):** digerido con mezcla diácida y determinado por fotocolorimetría por reducción con molibdo- vanadato.
- ❖ **Potasio, Sodio (K, Na):** digerido con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.
- ❖ **Calcio, Magnesio, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso (Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn):** digeridos con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de absorción atómica.
- ❖ **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** acetato de amonio 1.0 N pH 7.0 y determinado por arrastre de vapor.
- ❖ **Boro (B):** digerido con mezcla diácida y determinado por fotocolorimetría de azometina-H.
- ❖ **Densidad aparente (DAP):** método de la probeta.
- ❖ **Carbono/Nitrógeno (C: N):** estimado por cálculo.

7.4 Obtención del germoplasma

Se utilizaron semillas certificadas de lechuga (*Lactuca sativa* L. var. *francesa*), adquiridas en la casa comercial COBO S.A de C.V.

7.5 Elaboración del sustrato para almácigo

Para elaborar el sustrato se utilizó una mezcla con la siguiente composición: 50% turba, 1% de zeolita, 9% lombricomposta y 40 % bocashi (Fig. 3).

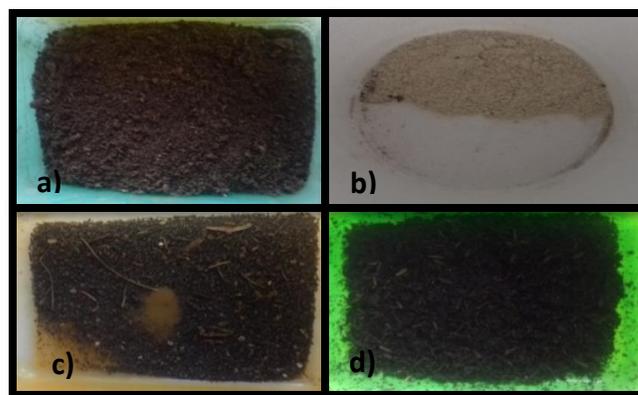


Figura 3. Materiales utilizados para la elaboración del sustrato, a) turba; b) zeolita; c) lombricomposta y d) bocashi.



7.6 Cultivo en almácigo

Para la germinación de las semillas de lechuga se usaron tres almácigos de plástico con 72 celdas cada uno, utilizando el sustrato elaborado. Una vez lleno el almácigo se procedió a sembrar dos semillas por celda (Fig. 4) a una profundidad de aproximadamente 0.5 mm. El almácigo se colocó dentro de un invernadero durante 24 días con una temperatura media de 20.63 °C durante el mes de octubre, (ciclo agrícola otoño-invierno). Se revisó diariamente el almácigo y se agregó el agua necesaria para mantenerlo húmedo. Durante la emergencia de las plántulas se evaluó el porcentaje y el tiempo medio de emergencia.



Figura 4. Almácigos con el sustrato para la siembra de semilla de lechuga.

7.7 Diseño experimental

Se evaluaron tres tratamientos (fertilizante químico, abono orgánico bocashi y abono orgánico composta). Los sustratos se colocaron en bolsas de plástico negro calibre 600 con 12.4 cm de diámetro y 24.5 cm de profundidad, con un volumen de 3 kg por bolsa en cada tratamiento. Se tuvieron 25 unidades experimentales por tratamiento (75 en total).

El testigo fue el cultivo con la fertilización química, para lo cual se utilizó un fertilizante comercial químico llamado Miracle-Gro (15-30-15) (Fig. 5) con la siguiente composición:

Nitrógeno total (N).....15%
5.8 % de Nitrógeno Amoniacal
9.2 % de Nitrógeno de Urea
Fosfato disponible (P_2O_5).....30%
Potasa soluble (K_2O).....15%
Boro (B).....0.02%
Cobre (Cu).....0.07%



0.07% de cobre (Cu) soluble en agua
Hierro (Fe).....0.15%
0.15% de hierro (Fe) Quelatado
Manganeso (Mn).....0.05%
0.05% de manganeso (Mn) Quelatado
Molibdeno (Mo).....0.0005%
Zinc (Zn).....0.06%
0.06% de zinc (Zn) soluble en agua



Figura 5. Fertilizante químico utilizado durante el experimento.

7.8 Preparación del sustrato para el cultivo de la lechuga

Los tratamientos con base a los diferentes sustratos para el crecimiento y desarrollo de la lechuga *francesa* fueron: tratamiento 1) tierra de monte y composta en una proporción 1:1; tratamiento 2) tierra de monte y bocashi en una proporción 2:1 y 3) testigo, tierra de monte 100% abonada con el fertilizante químico.

7.9 Trasplante de las plántulas de lechuga

Las 75 unidades experimentales (bolsas de plástico con sustrato), se colocaron de manera aleatoria en función del tratamiento (25 unidades por tratamiento) en una parcela de 6m



de largo por 1m de ancho, a cielo abierto. Las plántulas de lechuga se trasplantaron a las bolsas de plástico cuando tuvieron entre 7 y 10 cm de altura, colocando una plántula por cada unidad experimental (Fig. 6).



Figura 6. Trasplante de las plántulas de lechuga a las bolsas de plástico.

7.10 Actividades culturales

7.10.1 Composta y bocashi

En el caso de estos dos tratamientos se aplicaron biofertilizaciones adicionales en forma de té orgánico (composta y bocashi), los cuales se aplicaron de manera edáfica y foliar cada 15 días, 250 mL de té a cada planta de lechuga. El té se elaboró colocando dos kg de abono, en 20 L de agua, durante 24 horas. El riego para todas las plantas de lechuga se realizó con regaderas manuales, cada dos días, aplicando 250 mL de agua por lechuga.

7.10.2 Testigo

Se aplicó el fertilizante químico Miracle-Gro (10g en 4 L de agua), directamente al suelo y de manera foliar con una periodicidad de 15 días. El riego para este tratamiento también fue superficial con regaderas manuales, cada dos días, 250 mL de agua por plantas de lechuga.



7.11 Medición de las variables morfológicas

Todas las variables se midieron quincenalmente en las 25 lechugas de los diferentes tratamientos.

7.11.1 Porcentaje de emergencia (%): al final de la prueba se dividió el número total de plántulas emergidas entre el número total de semillas (Martínez, Virgen, Peña y Santiago, 2010), una vez que se observó emergencia constante durante tres días seguidos.

$$\% \text{ Emergencia} = \frac{\text{No. total de plántulas emergidas}}{\text{No. total de semillas sembradas}} (100)$$

7.11.2 Supervivencia (%): se evaluó el número de plantas vivas en relación al total de plantas sembradas y trasplantadas, con la siguiente fórmula (Gutiérrez, Ceballos, Vega, 2013):

$$PP = \frac{NPP}{NPS} (100)$$

Dónde: PP: porcentajes de pérdidas a la siembra; NPP: número de plantas pérdidas; NPS: número de plantas sembradas.

7.11.3 Altura de la planta (cm): se midió la altura de las plantas desde la base hasta el extremo superior de la cabeza con un flexómetro (Guerrero, Revelo, Benavides, Chaves y Moncayo, 2014).

7.11.4 Cobertura foliar (cm²): se tomaron dos mediciones en forma de cruz del follaje de la planta con la ayuda de un flexómetro, calculando el promedio de los valores (Martínez, 2016):

$$\text{Diámetro} = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

El diámetro promedio obtenido se dividió entre dos para obtener el valor del radio, el cual se sustituyó en la fórmula del área de un círculo ($A = \pi r^2$), dando como resultado el valor final de cobertura, la cual se midió en todas las lechugas.



7.11.5 Tasa de crecimiento relativo (TCR): expresa el incremento de masa seca con respecto al tiempo, este índice se calculó con la siguiente fórmula (Degiovanni, Martínez y Motta, 2010):

$$TCR = \frac{\ln \text{ altura final} - \ln \text{ altura inicial}}{T_2 - T_1}$$

Dónde: t_2 : tiempo final; t_1 : tiempo inicial en (días); altura final e inicial en (cm).

7.12 Variables del rendimiento

7.12.1 Número de hojas: el número de hojas se contaron de manera manual una por una en cada lechuga de los diferentes tratamientos al momento de la cosecha.

7.12.2 Índice de cosecha (IC): se evaluó con la siguiente fórmula (Aguilar, Escalante, Rodríguez y Fucikovsky, 2002):

$$IC = \frac{\text{materia seca en la semilla}}{\text{materia seca total}}$$

Donde la materia seca en la semilla corresponde al peso seco de la parte comestible y la materia seca total es el peso de la planta completa que incluye la raíz y la parte comestible.

7.12.3 Índice de calidad de Dickson (ICD): se evaluó con la siguiente fórmula (Rueda, Benavides, Prieto, Sáenz, Orozco y Molina, 2012):

$$ICD = \frac{\text{peso seco total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (cm)}} + \frac{\text{Peso seco de la parte aérea (g)}}{\text{Peso seco de la raíz (g)}}}$$

7.12.4 Índice de esbeltez (IE): se aplicó la siguiente formula (Orozco, Muñoz, Villaseñor, Rueda, Sigala y Prieto, 2010):

$$IE = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$



7.12.5 Relación raíz/vástago: se calculó con la siguiente fórmula:

$$RAR = \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco radical (g)}}$$

7.12.6 Rendimiento

Para obtener el rendimiento se pesaron las 25 unidades experimentales por tratamiento al momento de la cosecha, los valores de peso se tomaron con una balanza analítica, para posteriormente calcular el rendimiento (kg/m^2), dividiendo el peso de las 75 unidades experimentales (kg) entre el área de cada tratamiento (Velásquez, Ruíz, Chaves y Luna, 2014).

7.13 Variables de la calidad fisiológica

7.13.1 Concentración de nitratos

El contenido de nitratos en las hojas de lechuga se determinó en una muestra de 25 individuos/tratamiento, a los 30, 60 y 90 días (cosecha). De acuerdo a la posición de las hojas en la planta, éstas se dividieron en interiores (conforman el cogollo), intermedias (entre las interiores y las exteriores) y exteriores (hojas externas y las primeras en formarse). Se registró la concentración promedio de nitratos, por hojas de cada tipo, con un tamaño de 3 hojas de cada tipo, por planta de lechuga.

Para la medición de la concentración de nitratos, se separó la vena central de cada hoja/ tipo/ individuo de cada tratamiento, de la cual se extrajo la savia, utilizando una prensa de ajos. La savia se colocó en un medidor de nitratos (marca Horiba), para medir su concentración (Leyva, Sánchez, Alcántar, Valenzuela, Gavi y Martínez, 2005). Previamente a realizar las mediciones, el equipo se calibró con una solución estándar de 2000 ppm (Fig. 7), las lecturas siempre se realizaron por la mañana (8:00 am) y los valores reportados resultaron de un promedio de tres repeticiones o determinaciones por cada tipo de hoja.

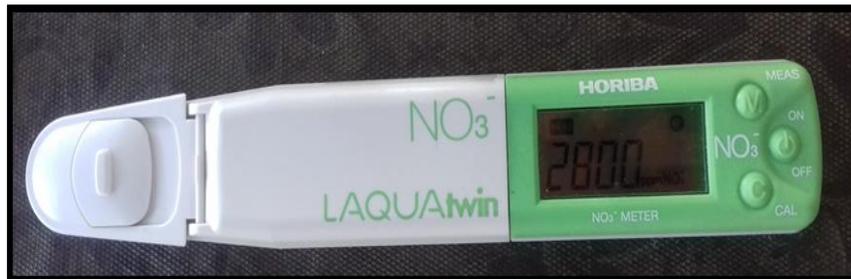


Figura 7. Ionómetro portátil.



7.14 Análisis estadístico

Las variables de crecimiento se analizaron con un ANOVA de un factor y las medias se compararon mediante la prueba de diferencia mínima de Tukey-Kramer ($p \geq 0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron en el programa NCSS versión 7.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para conocer la correlación de Pearson entre los componentes nutrimentales de los abonos orgánicos y la tierra de monte con la altura, la cobertura, el índice de Dickson y la concentración de nitratos en hojas de lechuga, para esto se utilizó el programa MVSP.

VIII. Resultados

8.1 Calidad de los abonos orgánicos

8.1.1 Calidad del abono composta

La composta analizada es de calidad media alta de acuerdo al Laboratorio Central de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Resultados del análisis del abono composta

<i>Características</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>
pH	7.58	---
CE	4.33	dS m ⁻¹
M.O.	34.98	%
N-inorgánico	1.61	%
P	0.15	%
K	0.41	%
Na	0.23	%
Ca	1.43	%
Mg	0.71	%
CIC	54.73	Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹
Fe	0.23	%
Cu	15.73	mg kg ⁻¹
Zn	86.46	mg kg ⁻¹
Mn	60.33	mg kg ⁻¹
B	216.36	mg kg ⁻¹
Dens. Apar.	0.76	g cm ⁻³
C:N	16.4	---

* Los resultados presentados son del promedio de tres repeticiones.



8.1.2 Calidad del abono bocashi

El bocashi analizado es de calidad alta de acuerdo con el Laboratorio Central de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo, (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados del análisis del abono orgánico bocashi.

<i>Características</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>
pH	7.89	---
CE	4.82	dS m ⁻¹
MO	45.36	%
CIC	50.0	Cmol ₍₊₎ Kg ⁻¹
N- inorgánico	1.05	%
P	0.55	%
K	0.42	%
Ca	0.92	%
Mg	0.39	%
Na	0.42	%
Fe	0.37	%
Cu	36.8	mg kg ⁻¹
Zn	107.4	mg kg ⁻¹
Mn	85.76	mg kg ⁻¹
B	114.33	mg kg ⁻¹
Dens. Apar.	0.43	g cm ⁻³
C:N	36.1	---

**Los resultados presentados fueron del promedio de tres repeticiones.*



8.2 Calidad de la tierra de monte

Con base en la interpretación, esta tierra de monte es deficiente en macro y micronutrientes, se recomendó fertilizar con abonos orgánicos o fertilizantes nitrogenados, para un buen crecimiento de la lechuga (Cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados de la calidad de la tierra de monte.

<i>Características</i>	<i>Resultado</i>	<i>Unidades</i>
pH	6.16	---
CE	0.22	dS m ⁻¹
MO	8.58	%
N-inorgánico	0.00128	%
P	0.00024	%
K	0.01433	%
Ca	0.2292	%
Mg	0.02359	%
Fe	0.00572	%
Cu	1.22	mg kg ⁻¹
Zn	3.11	mg kg ⁻¹
Mn	2.48	mg kg ⁻¹
B	1.35	mg kg ⁻¹
Dens. Apar.	0.88	g cm ⁻³
Textura	Franco-arenosa	---
Arena	59.73	%
Limo	35.3	%
Arcilla	5.0	%

**Los resultados presentados fueron del promedio de tres repeticiones.*



8.3 Porcentaje de emergencia

El porcentaje final de emergencia de la semilla de la lechuga sembrada en almácigo, fue de 43.26%, teniendo un tiempo medio de germinación de 17.08 días (Fig. 8), las condiciones microclimáticas para la emergencia de la lechuga fueron una temperatura máxima promedio de 31.87 °C, media de 20.63 °C y una mínima de 9.34 °C (Fig. 9).

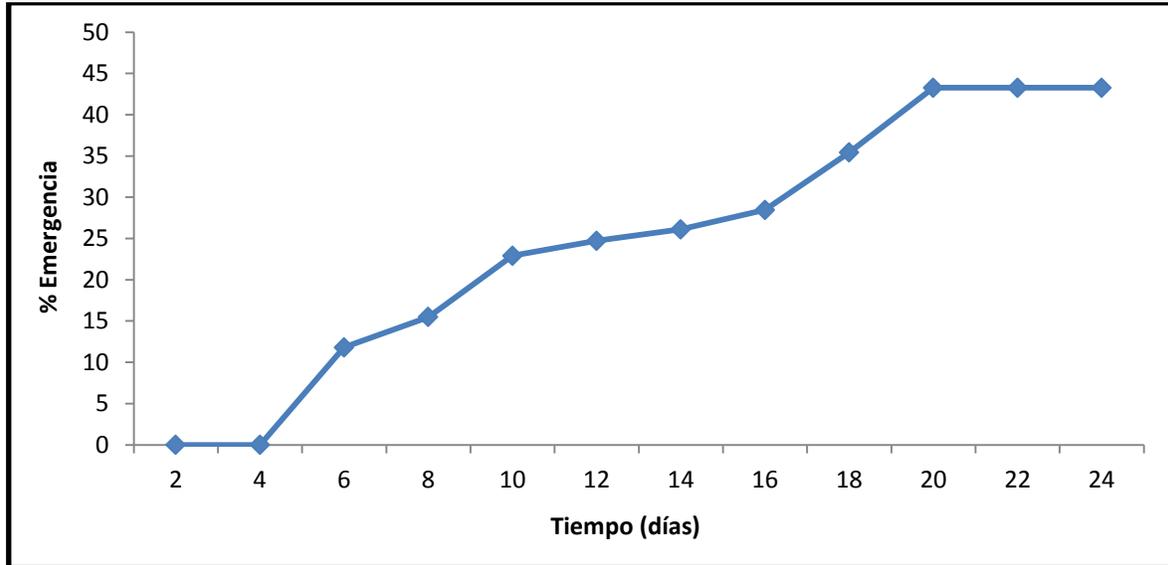


Figura 8. Porcentaje de emergencia de la semilla de la lechuga.

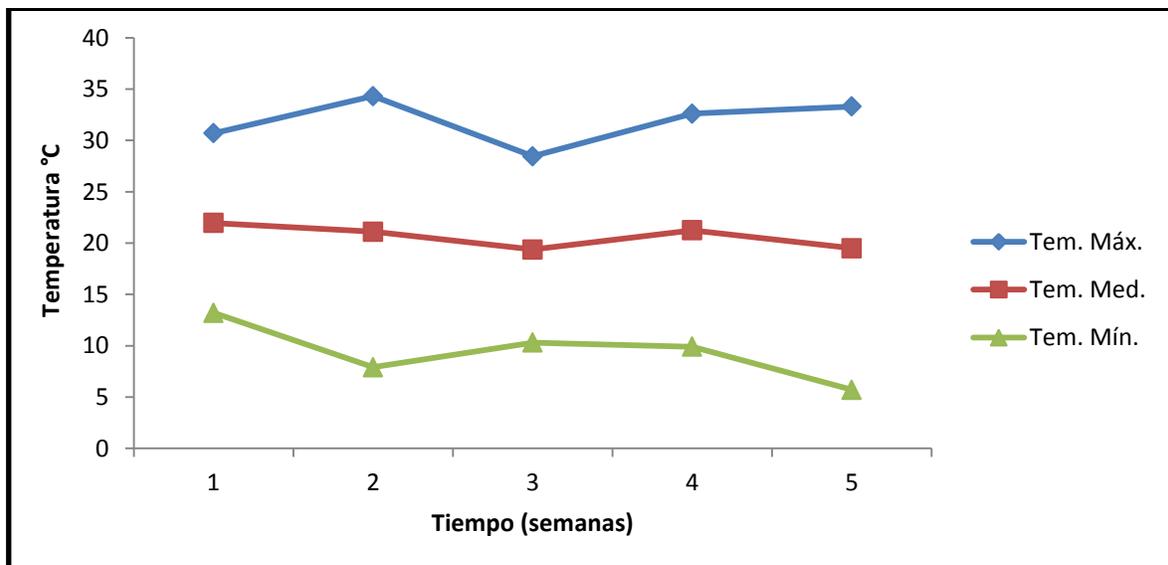


Figura 9. Temperaturas promedio durante la germinación de las semillas de la lechuga, en el periodo de octubre y en el ciclo agrícola otoño-invierno.



8.4 Porcentaje de supervivencia

Se determinó en relación al momento de la cosecha para cada uno de los tratamientos. Las lechugas cultivadas con los dos abonos, composta y bocashi tuvieron un 100% de supervivencia, al igual que las lechugas del testigo (Fig. 10).

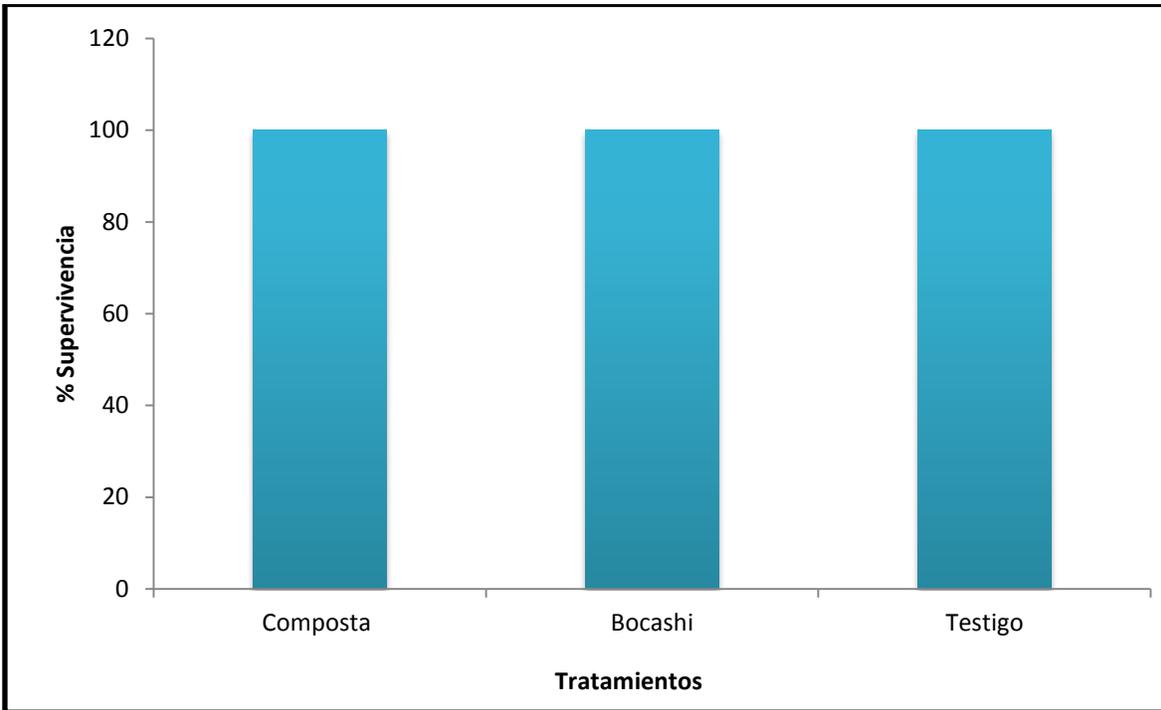


Figura 10. Porcentaje de supervivencia para la lechuga, (n=25).



8.5 Variables morfológicas

8.5.1 Altura de la planta

La altura de las plantas de las lechugas presentaron valores entre 10.92 y 13.34 cm, presentando diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los tratamientos (Fig. 11), en donde las lechugas cultivadas en composta y bocashi presentaron los mayores valores y el testigo presentó el menor valor y diferente significativamente a las anteriores (Fig. 12).

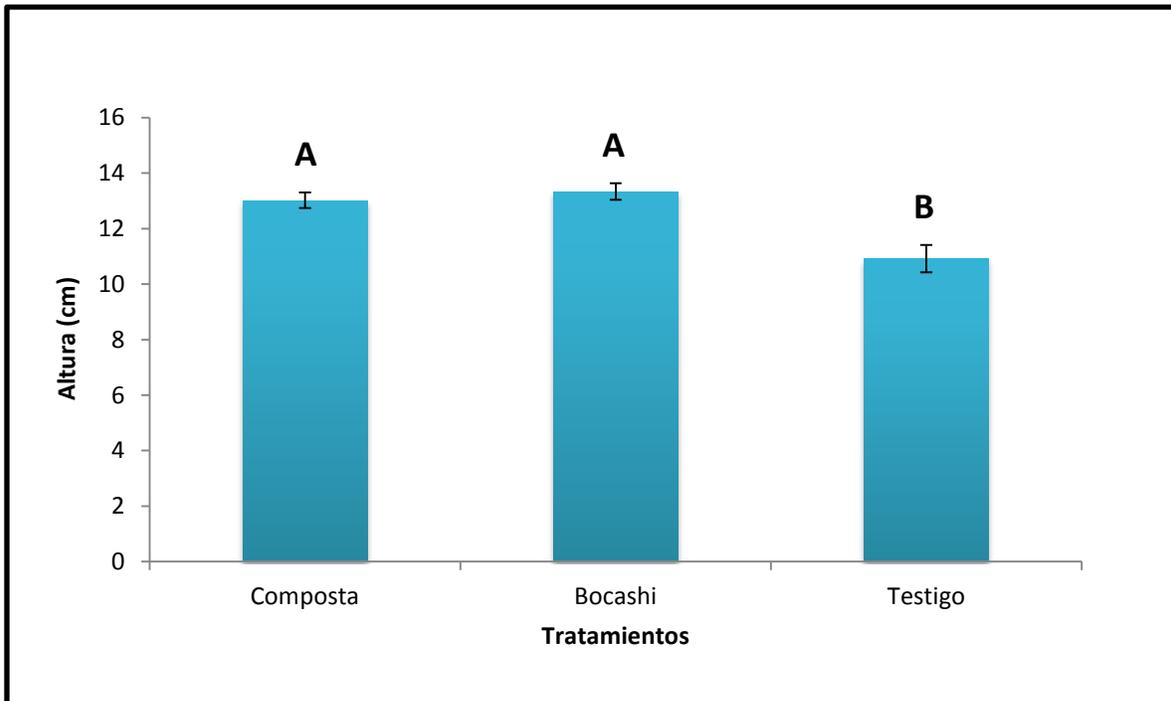


Figura 11. Altura media de las plantas de lechuga al momento de la cosecha en los diferentes tratamiento, (n=25).

Letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (ANOVA; $F = 12.57$, $P = 0.000021$).





Figura 12. Tamaño de las lechugas en los tres diferentes tratamientos: a) bocashi, b) composta y c) fertilizante químico.



8.5.2 Cobertura

La cobertura de las lechugas presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos (Fig. 13). La cobertura de las lechugas osciló entre 623.48 y 282.31 cm^2 . El testigo presentó el menor valor y diferente significativamente a las lechugas de composta y bocashi (Fig. 12).

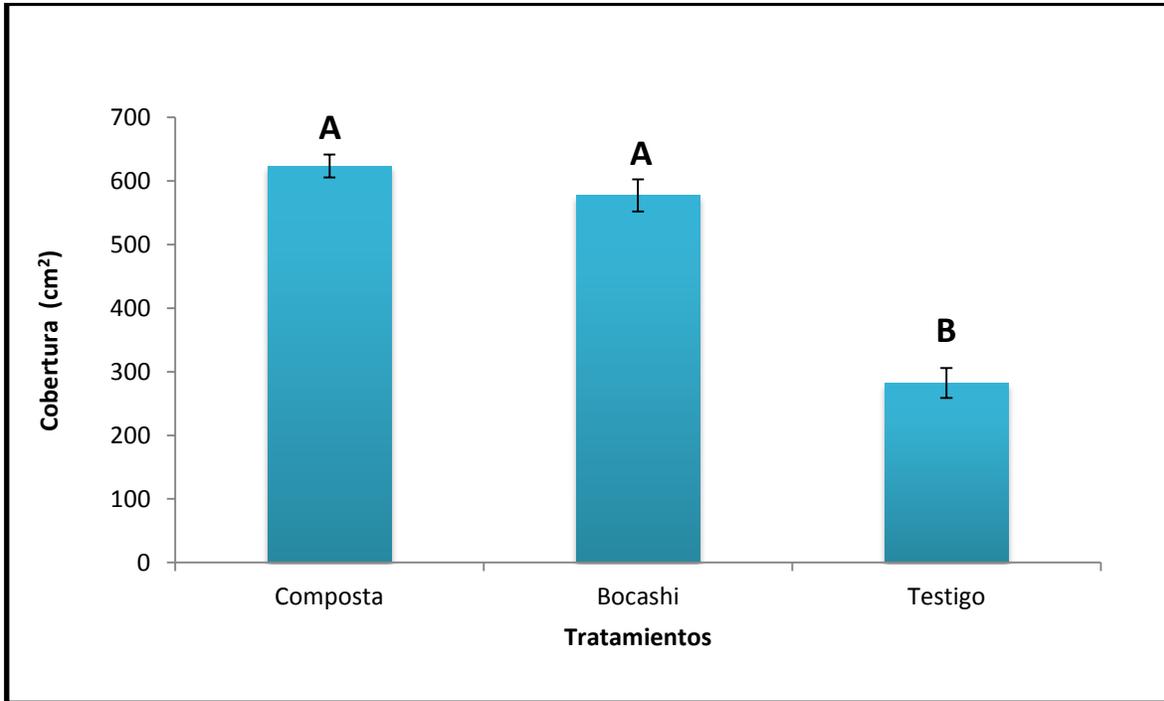


Figura 13. Cobertura media de las plantas de lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).

Letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas en los diferentes tratamientos (ANOVA. $F=67.34$, $P=0.000001$).



8.5.3 Tasa de crecimiento relativo (TCR)

La TCR presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos. Los mayores valores los presentaron las lechugas del testigo (Fig. 14).

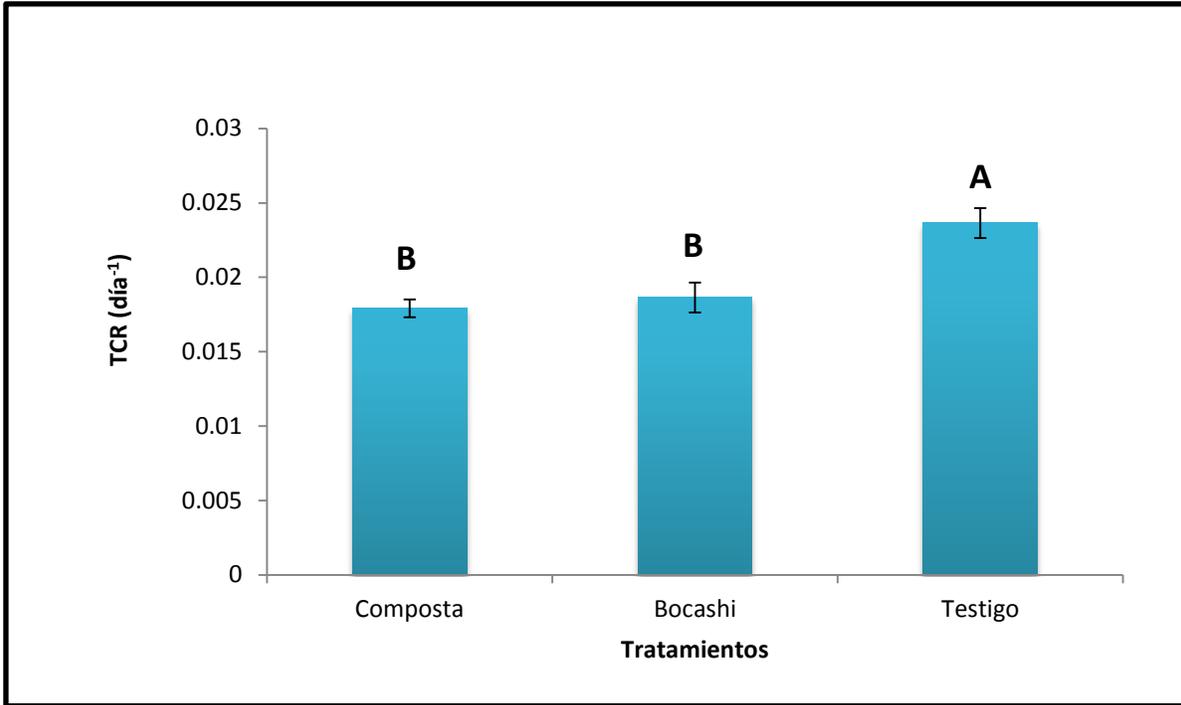


Figura 14. Tasa de crecimiento relativo media para la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).

Letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas (ANOVA; $F=11.12$, $P=0.000062$).



8.6 Variables del rendimiento

8.6.1 Número de hojas

El número de hojas de la lechuga al momento de la cosecha presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Fig. 15). El bocashi presentó el valor menor (26.12).

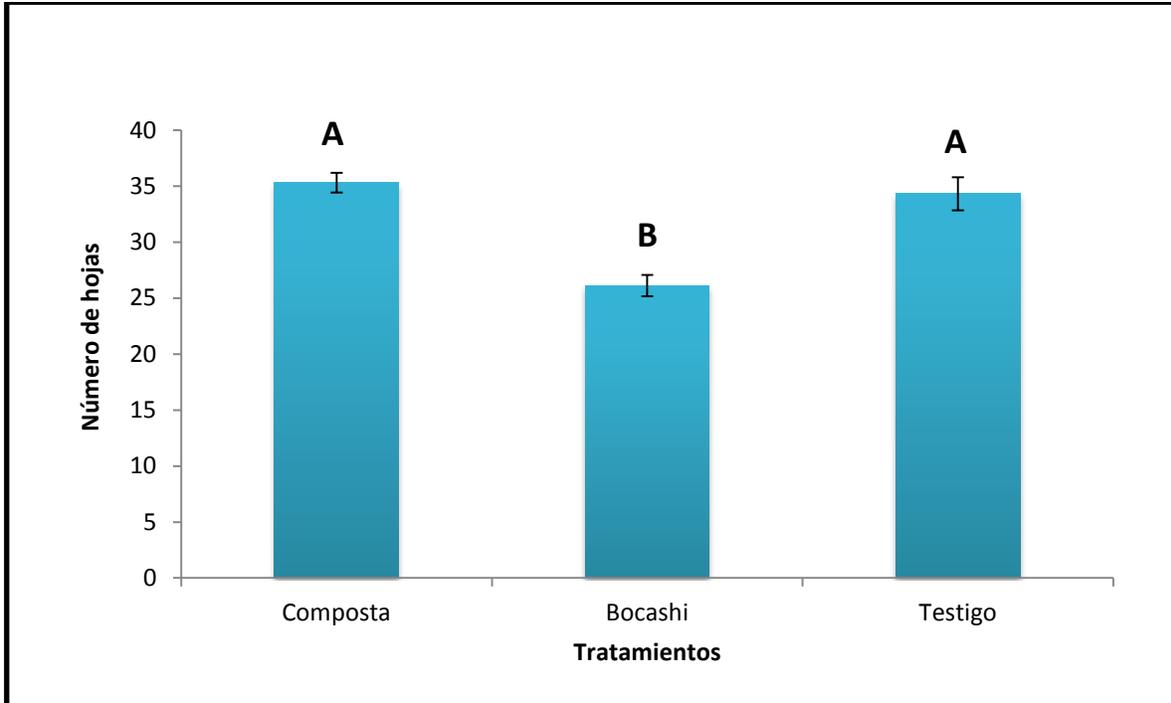


Figura 15. Número de hojas media al momento de la cosecha de las lechugas en los diferentes tratamientos, (n=25).

Letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas (ANOVA. $F=19.57$, $P=0.000001$).



8.6.2 Índice de cosecha (IC)

El índice de cosecha no presentó diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) para ninguno de los tres tratamientos de la lechuga (Fig.16).

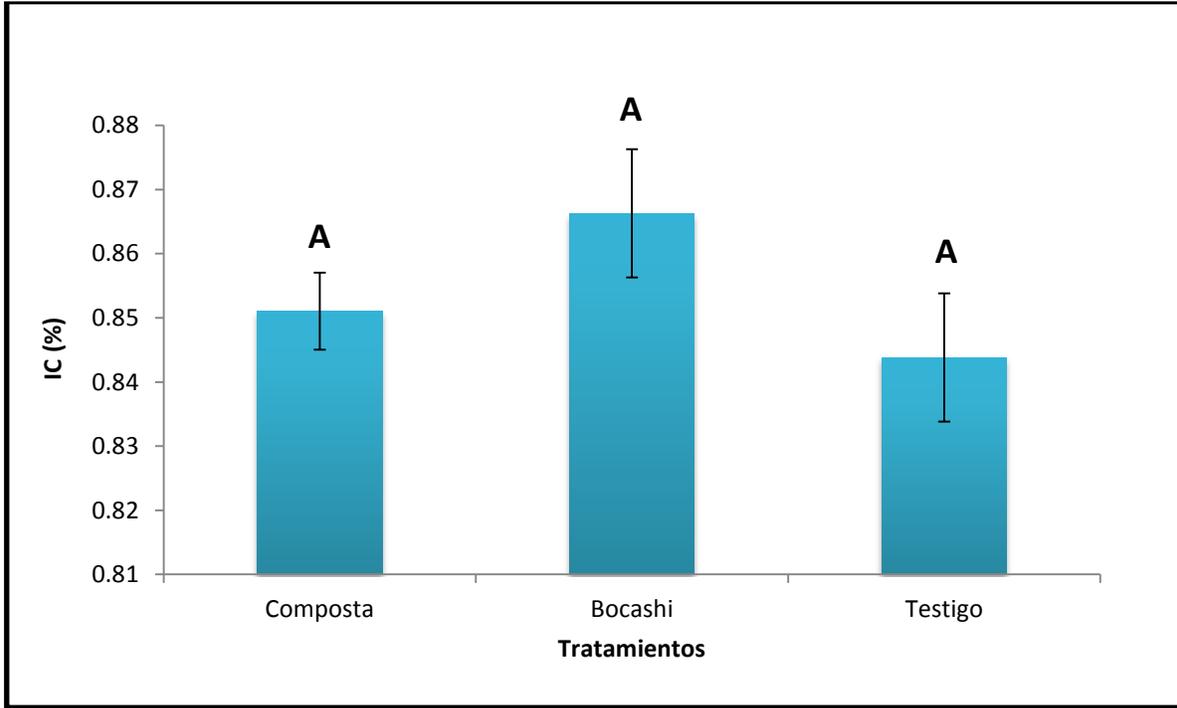


Figura 16. Índice de cosecha media para la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).

Letras iguales entre barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (ANOVA. $F=1.50$, $P=0.23$).



8.6.3 Índice de calidad de Dickson (ICD)

Para el ICD el tratamiento que presentó el mayor valor (6.10) fue el de la composta, presentando diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) a los otros tratamientos, en donde las lechugas cultivadas con bocashi y el testigo fueron menores (Fig. 17).

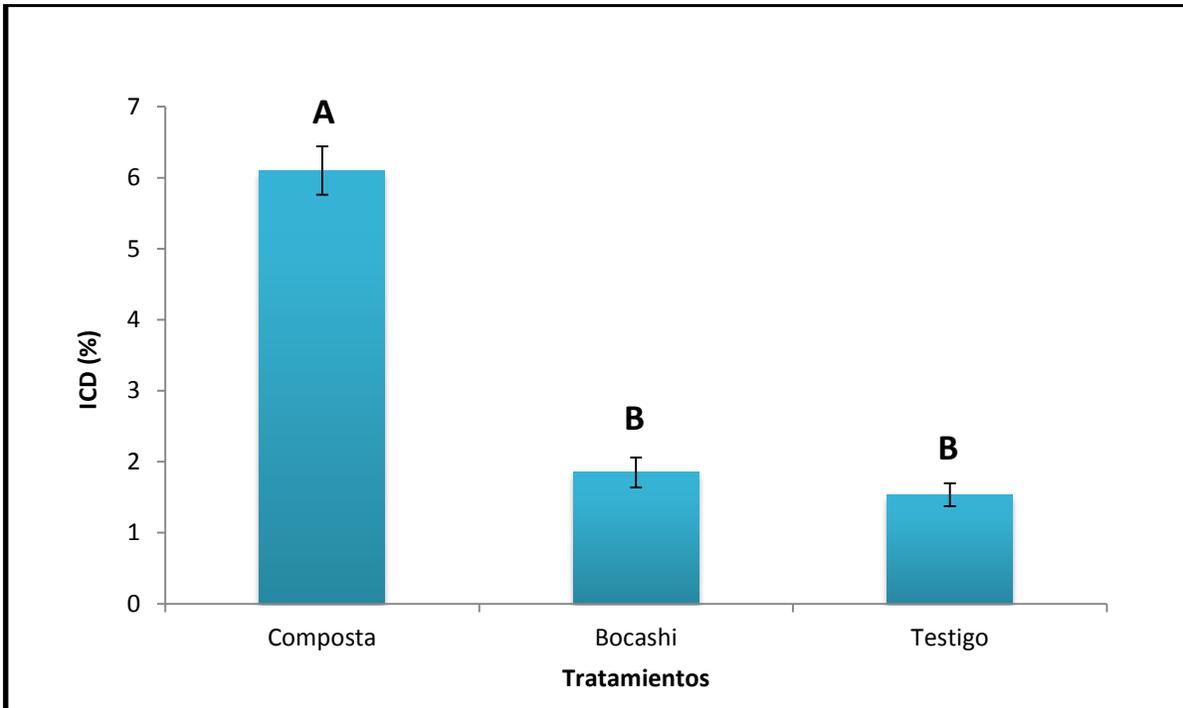


Figura 17. Índice de calidad de Dickson media para la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).

Las letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (ANOVA. $F=100.23$, $P=0.000001$).



8.6.4 Índice de esbeltez

El índice de esbeltez presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), en donde las lechugas cultivadas con composta y bocashi presentaron los menores valores y fueron similares entre ellas. El testigo presentó el mayor valor (Fig. 18).

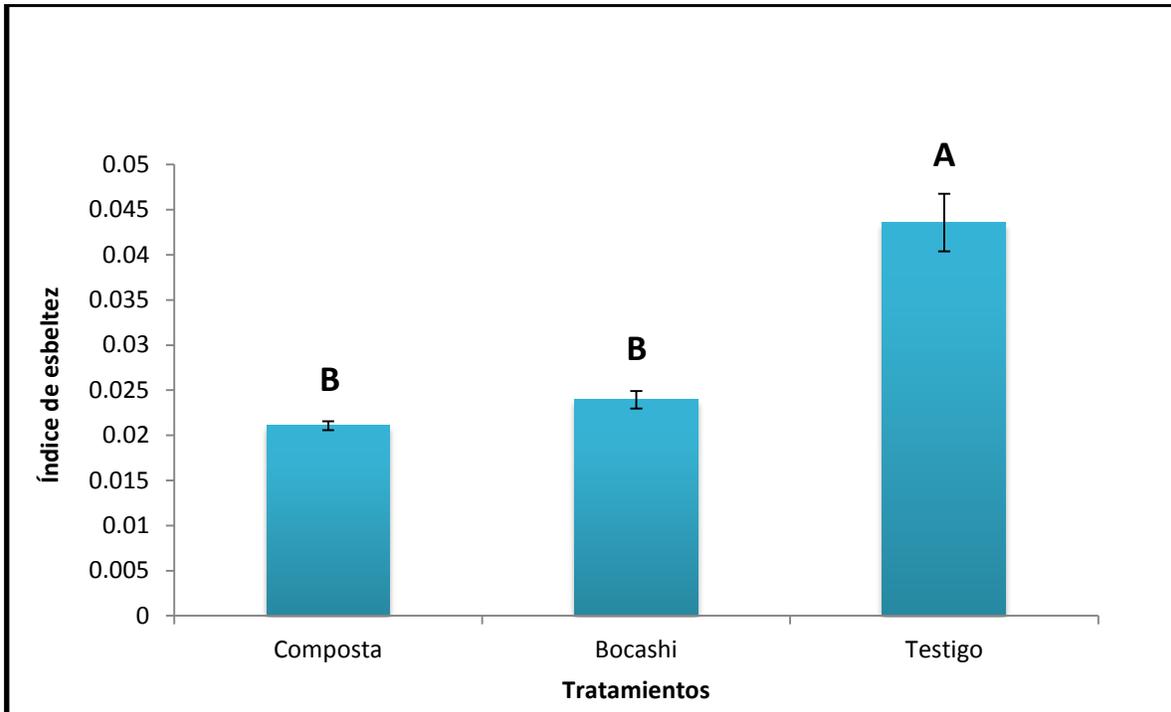


Figura 18. Índice de esbeltez media de la lechuga en los diferentes tratamientos, (n=25).

Las letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (ANOVA. $F=38.10$, $P= 0.000001$).



8.6.5 Atributos del rendimiento

La composta presentó los mejores resultados para los atributos del rendimiento evaluados, el bocashi presentó valores intermedios y el testigo los menores valores (Cuadro 6).

Cuadro 6. Biomasa de la raíz y vástago para las lechugas en los diferentes tratamientos.

<i>Variables</i>	<i>Composta</i>	<i>Bocashi</i>	<i>Testigo</i>
Peso seco del tallo	17.12±0.55 A	12.04±0.68 B	8.56±1.25 C
Peso húmedo del tallo	226.8±10.34 A	164.4±10.18 B	69.28±8.05 C
Peso seco raíz	7.56±0.46 A	2.76±0.42 B	2.09±0.21 B
Peso húmedo raíz	38.24±1.43 A	23.8±2.13 B	12.04±1.44 C
Largo raíz	20.16±0.7 A	22.24±0.9 A	15.06±1.16 B
Cobertura raíz	40.91±2.15 A	12.33±1.08 B	12.89±1.76 B
Relación raíz/vástago	0.44±0.02 A	0.40±0.02 B	0.32±0.05 C

Letras diferentes entre columnas indican diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos.



8.6.6 Rendimiento

El rendimiento presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, el mayor rendimiento lo presentó la composta (1.35 Kg/m²), el menor rendimiento lo presentó el testigo con (0.42 Kg/m²) y el bocashi presentó valores intermedios (0.979 Kg/m²) (Fig. 19).

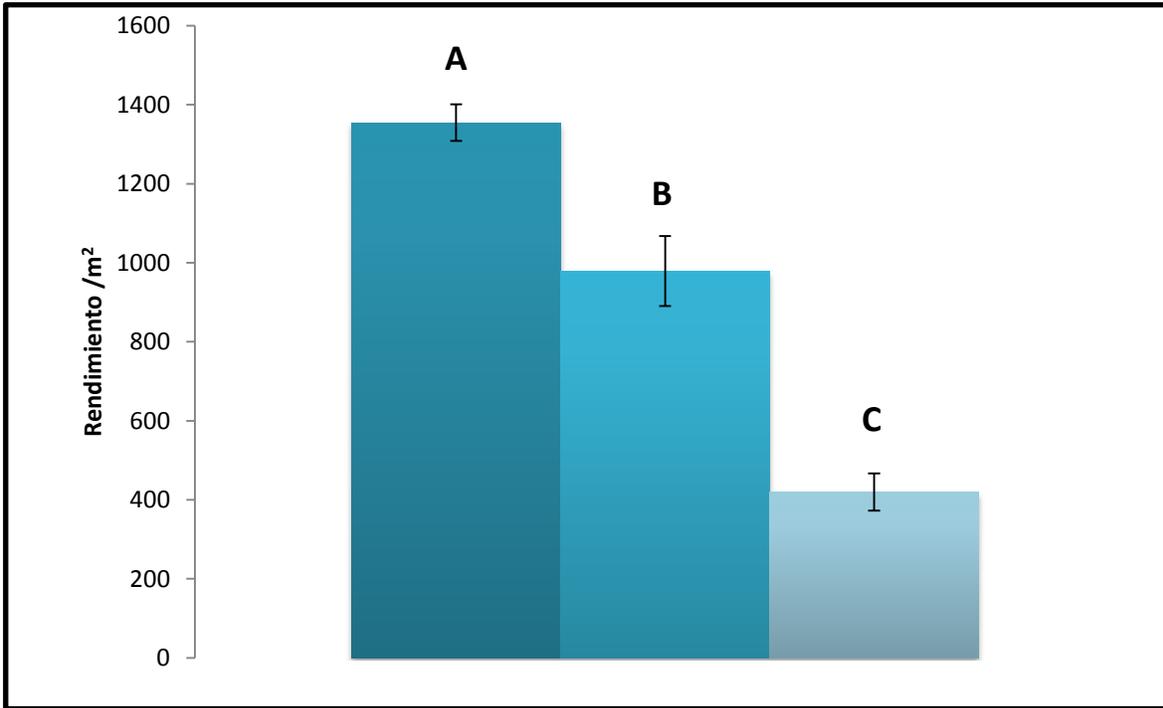


Figura 19. Rendimiento de la lechuga en tres tratamientos; composta (A); bocashi (B) y testigo (C).

Las letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (ANOVA. $F=54.23$, $P= 0.00001$).



8.7 Concentración de nitratos

8.7.1 Nitratos en composta

Las hojas de la lechuga cultivadas en composta presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Fig.20). Las hojas exteriores presentaron la mayor concentración de nitratos (4,767 ppm).

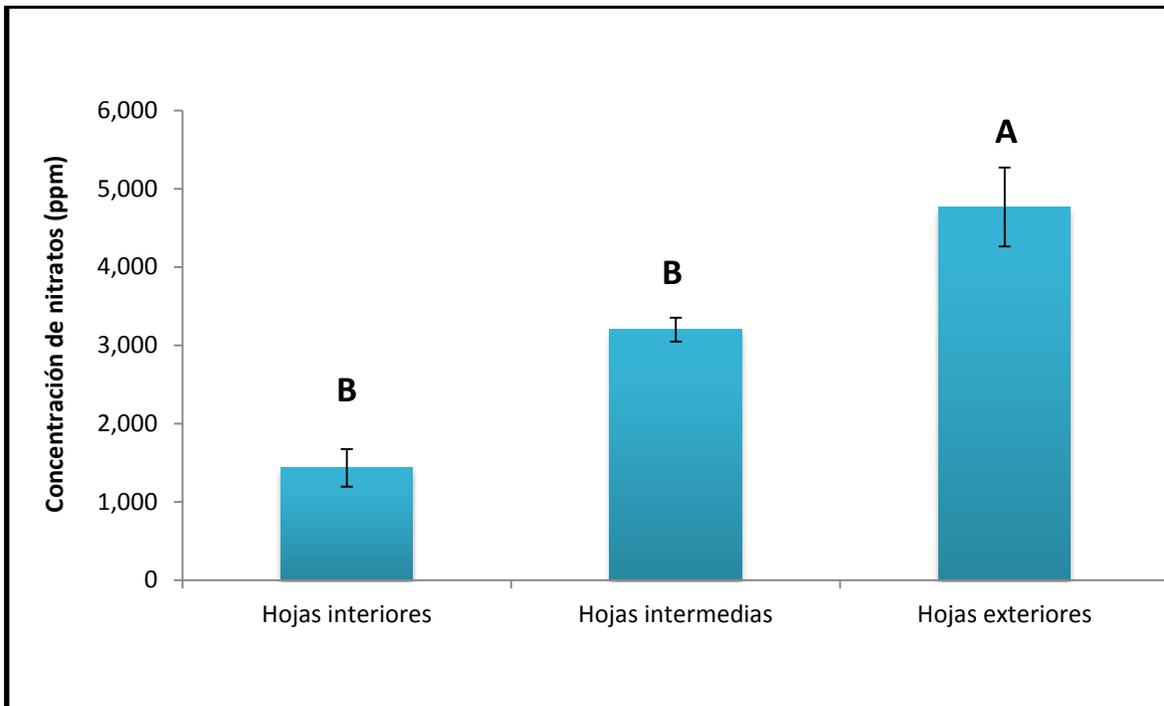


Figura 20. Concentración de nitratos en las diferentes hojas de la lechuga cultivadas con composta.

Letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas en la concentración de nitratos en las hojas de la lechuga (ANOVA. $F=24.86$, $P=0.0012$).



En la figura 21 se muestra la tendencia de la concentración de nitratos en diferentes etapas del cultivo, en relación al tipo de hoja, en donde las hojas exteriores presentaron las mayores concentraciones en las diferentes etapas.

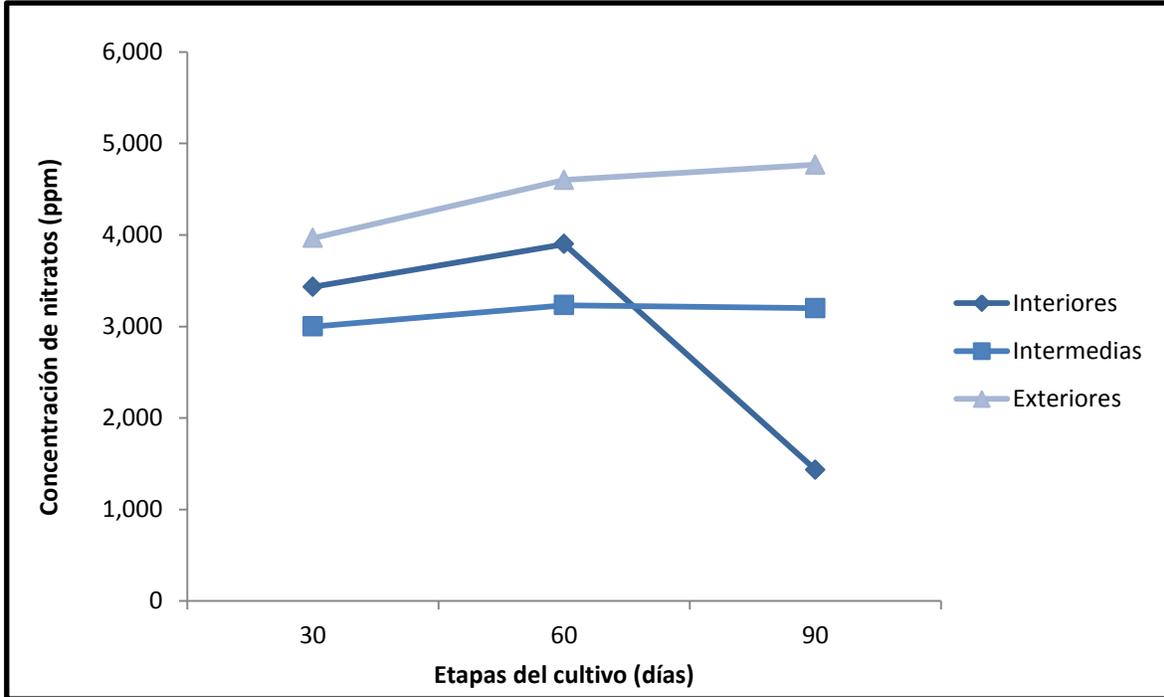


Figura 21. Concentración de nitratos en diferentes etapas de desarrollo de la lechuga, en el tratamiento composta.



8.7.2 Nitratos en bocashi

Las hojas de la lechuga cultivadas con bocashi presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) (Fig.22). La concentración más baja (1,007 ppm) de nitratos corresponde a las hojas interiores y los mayores valores (4,400 ppm) a las hojas exteriores.

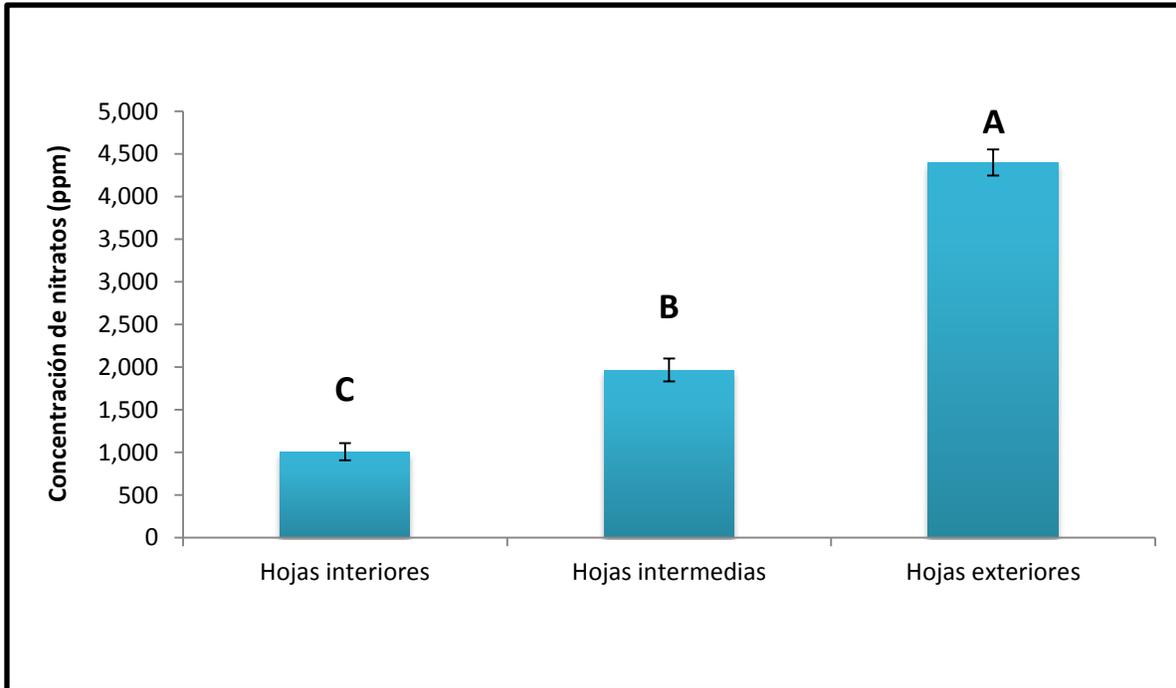


Figura 22. Concentración de nitratos en las diferentes hojas de lechuga cultivadas con bocashi.

Letras diferentes entre barras indican que hay diferencias estadísticas significativas en la concentración de nitratos en las hojas de la lechuga (ANOVA. $F=178.9$, $P=0.000004$).



En la figura 23 se muestra la tendencia de la concentración de nitratos en diferentes etapas del cultivo, en relación al tipo de hoja, la mayor concentración fue para las hojas exteriores.

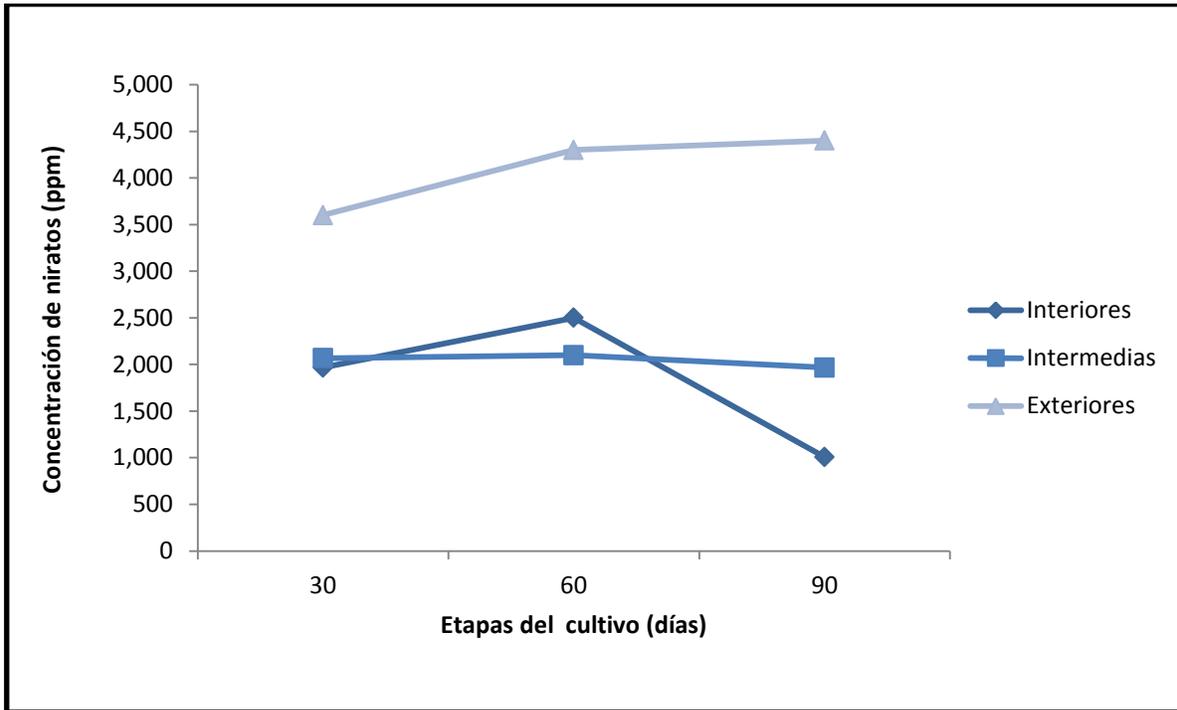


Figura 23. Concentración de nitratos en diferentes etapas del desarrollo de la lechuga, en el tratamiento bocashi.



8.7.3 Nitratos con el fertilizante químico

Las hojas de la lechuga cultivadas con el fertilizante químico no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) (Fig.24). La concentración más alta de nitratos corresponde a las hojas exteriores (4,233 ppm), que incrementó a partir de la etapa de desarrollo (Fig. 25).

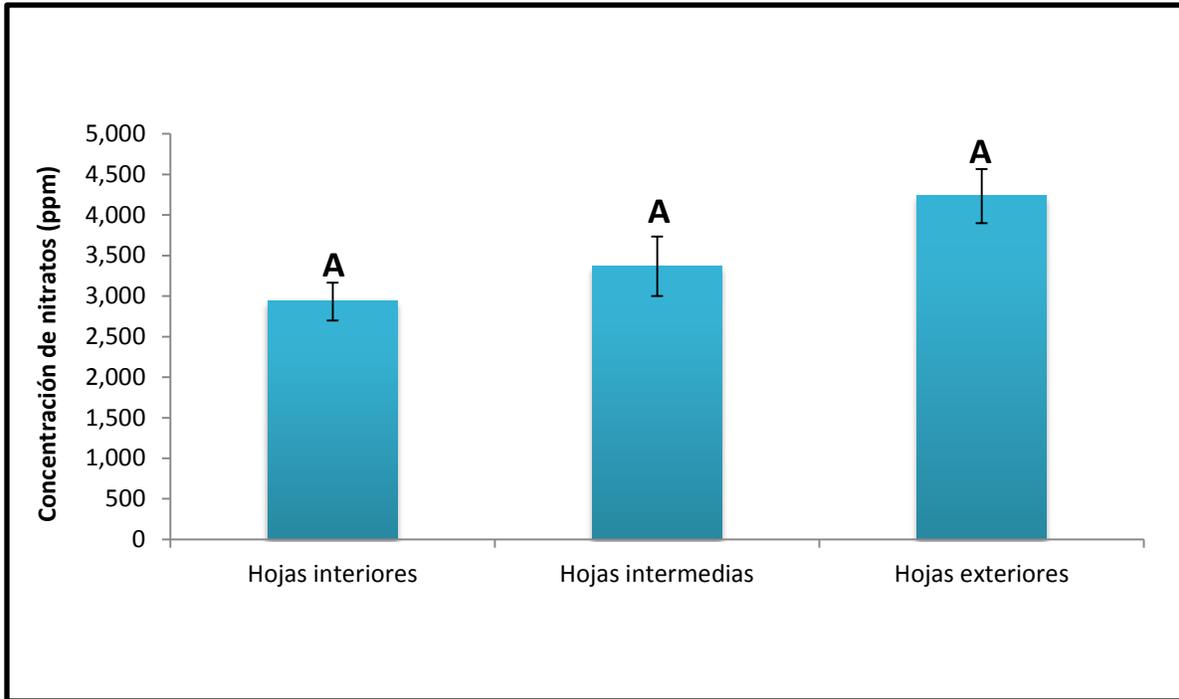


Figura 24. Concentración de nitratos en las diferentes hojas de la lechuga cultivadas con el fertilizante químico.

Letras iguales entre barras indican que no hay diferencias estadísticas significativas en la concentración de nitratos en las hojas de la lechuga (ANOVA. $F=4.38$, $P=0.067$).



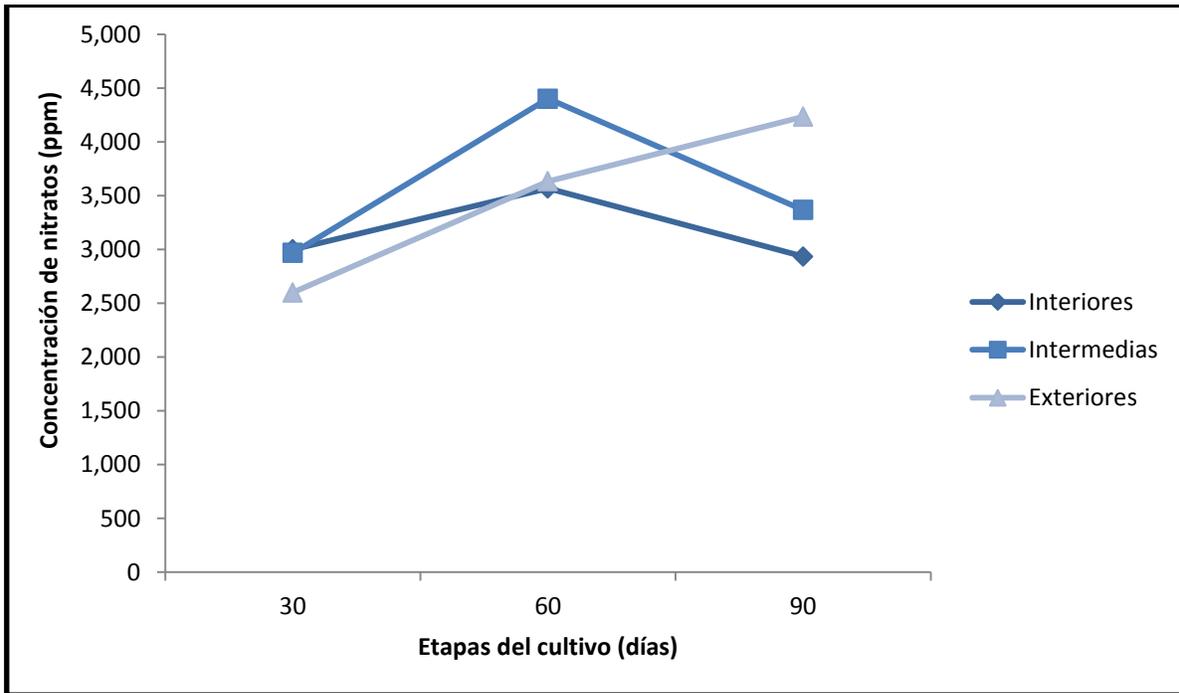


Figura 25. Concentración de nitratos en diferentes etapas de desarrollo de la lechuga, en el tratamiento con fertilización química.



8.8 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) explicó el 69.6 % de la varianza con dos componentes; el ACP separa los tratamientos en función de las variables de las plantas (altura, cobertura, Índice de Dickson y concentración de nitratos) y del suelo medidas (macro y micronutrientes, pH, MO) (Fig. 26).

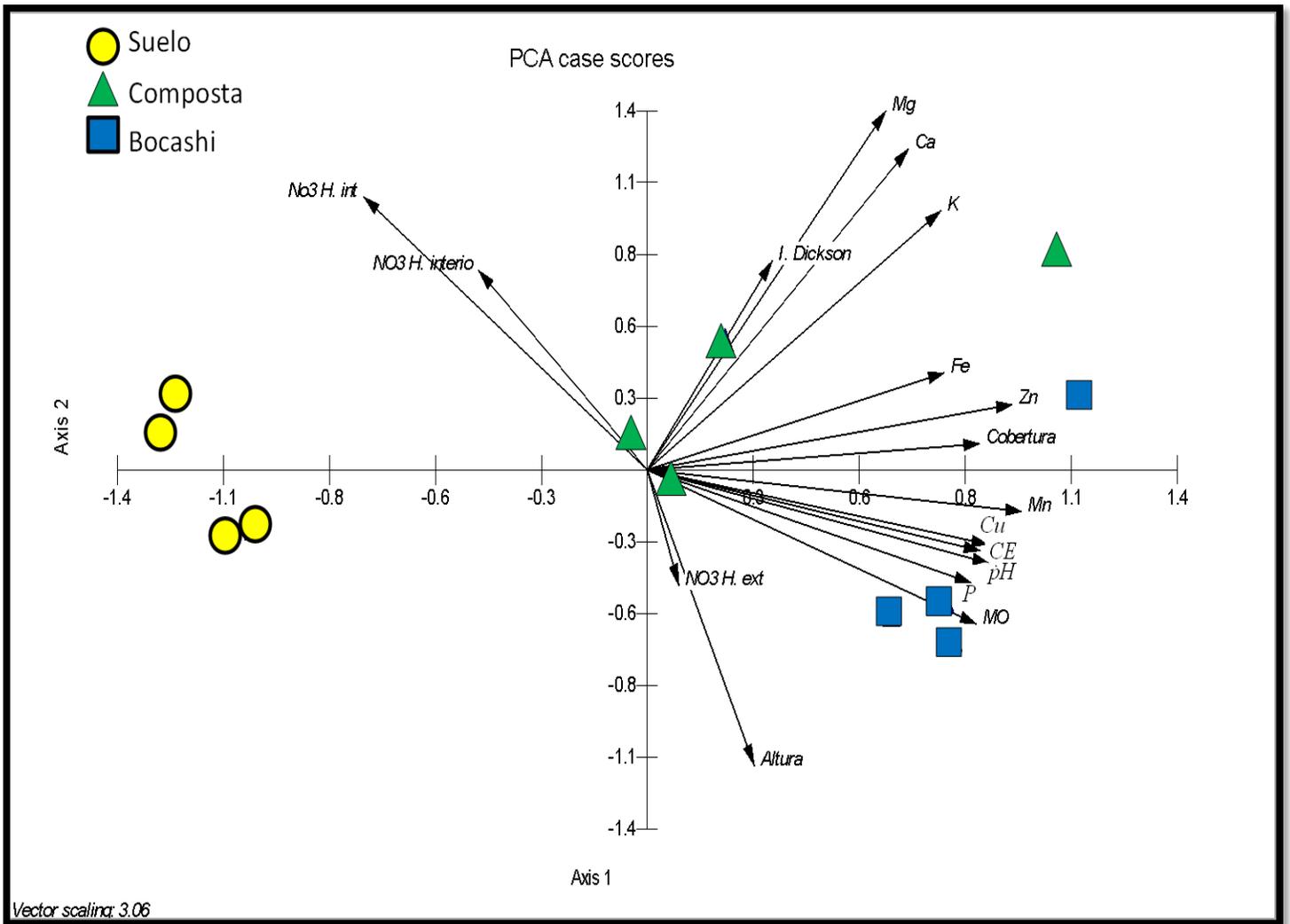


Figura 26. Análisis de componentes principales (ACP) para la composición nutrimental de los abonos orgánicos y la tierra de monte vs. Variables de la calidad morfológica de las plantas y la concentración de nitratos en las hojas de la lechuga.



Cuadro 7. Porcentaje de influencia de los cofactores del análisis de componentes.

	<i>Componente 1</i>	<i>Componente 2</i>
Eigen valores	9.506	2.328
Porcentaje	55.92	13.697
Porcentaje acumulado	55.92	69.617

Cuadro 8. Coordenadas de los valores del análisis de componentes

<i>Variable</i>	<i>Axis 1</i>	<i>Axis 2</i>
pH	0.291	-0.117
CE	0.284	-0.102
MO	0.28	-0.194
P	0.276	-0.142
K	0.25	0.326
Ca	0.223	0.404
Mg	0.203	0.452
Fe	0.253	0.122
Cu	0.29	-0.094
Zn	0.311	0.082
Mn	0.319	-0.052
Altura	0.091	-0.372
Cobertura	0.283	0.033
I. Dickson	0.107	0.263
NO ₃ ⁻ Hojas interiores	-0.144	0.251
NO ₃ ⁻ Hojas intermedias	-0.242	0.343
NO ₃ ⁻ Hojas exteriores	0.027	-0.146



IX. Discusión

9.1 Calidad de los abonos orgánicos

La composta presentó una calidad media-alta, de acuerdo a los análisis realizados en el Laboratorio Central de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo (Cuadro 3). Con un pH de 7.58, el cual cubre los requerimientos del cultivo de la lechuga francesa (6.3-7.5), Saavedra (2017). En este rango de pH la mayoría de los nutrimentos están disponibles (Navarro y Navarro, 2000).

La conductividad eléctrica (CE) fue de 4.33 dS/m^{-1} , por lo que no presentó problemas de salinidad, aunque es conveniente que los abonos orgánicos tengan un nivel de CE menor de 4 dS/ m^{-1} , de tal manera que al ser utilizados en los terrenos agrícolas, no ocasionen problemas de salinidad, ya que podrían dañar la germinación de las semillas o la actividad y el desarrollo de las raíces de las plantas (Cepeda-Guzmán *et al.*, 2014). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue de $54.73 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}^{-1}$, lo que representa un valor alto, que asegura una buena disponibilidad de nutrimentos. La CIC, está asociada con la textura, tipo de arcilla y contenido de materia orgánica en el suelo, es deseable que los suelos agrícolas presenten una CIC alta, lo cual está asociada con una alta saturación de bases, y un gran potencial para suministrarlas a la nutrición de las plantas.

La materia orgánica fue de 34.98%. Indica el porcentaje de la materia seca que permanece como materia orgánica tras el proceso de compostaje. Valores inferiores al 30% normalmente indican que el compost está mezclado con arena, tierra, cenizas u otro compuesto mineral. Valores superiores al 60% indican que los residuos no están suficientemente compostados.

La materia orgánica es importante para mantener la fertilidad del suelo. La reducción de los niveles de materia orgánica en los suelos, en los últimos años, es un indicador importante de que las prácticas agrícolas deben ser modificadas. La disminución de materia orgánica en el suelo, es una amenaza para la sostenibilidad de la fertilidad del mismo, debido al aumento de los procesos de lixiviación. La materia orgánica es fuente principal de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores. Mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad amortiguadora del pH, y tiene gran influencia en la CIC, de acuerdo a FAO (2013).

El contenido de nitrógeno fue adecuado (01.61%), el del fósforo (0.15%) y de potasio (0.41%) fueron bajos. Para que los abonos orgánicos cubran los requerimientos de la mayoría de los cultivos agrícolas, deben presentar de 1-2.5 % de nitrógeno, 0.4-1.2 % de fósforo y entre 0.5-1.3 % de potasio.

(https://www.gipuzkoa.eus/documents/2227195/2229015/interpretacioncompost_v1.pdf/26b0b56f-ff7d-af7c-56c6-0faac739b012) (Anónimo) (Anexo 13.2)



Es importante mencionar que el contenido bajo de estos macronutrientes no afectó el desarrollo del cultivo de lechuga francesa, ya que las carencias se suplieron aporcando con el abono cada 15 días hasta el momento de su cosecha.

La relación carbono/nitrógeno de 16.4 (Cuadro 3), es considerada como buena, donde la composta aportará nitrógeno aprovechable para las plantas, de forma rápida y sostenida, al ser adicionada al terreno o al sustrato en bolsa, lo cual es deseable para el desarrollo del cultivo. Un buen abono orgánico debe tener entre 10 y 20 de relación C/N. Si es muy elevado indica que es un abono inmaduro y se puede reducir la disponibilidad de nitrógeno para las plantas (Anexo 13.2).

La composición nutrimental de la composta fue similar a la reportada por Muñoz *et al.* (2015), quien cultivo lechuga. En este estudio se observó un efecto positivo del abono, sobre las propiedades químicas del suelo, mejorando notablemente el pH, el contenido de M.O y la CIC, que son propiedades que mejoran la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. En general el abono cumplió los requerimientos nutricionales de la lechuga con un efecto positivo en el rendimiento, donde al aplicar 1,152 kg/ha de abono orgánico al cultivo de lechuga, se obtuvieron rendimientos de 5,511 kg/ha.

EL abono orgánico bocashi presentó una calidad alta de acuerdo al análisis realizado en el Laboratorio Central de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo, con un contenido aceptable de nitrógeno (1.05%), fósforo (0.55%) y potasio (0.42%) y, un buen contenido de micronutrientes, solo en manganeso presentó concentraciones bajas. El bocashi puede considerarse como una buena fuente de micronutrientes, sobre todo hierro y boro, los cuales son muy necesarios en los suelos alcalinos.

La materia orgánica fue óptima (45.36%) al igual que en la composta; el pH de 7.89 también es aceptable para los abonos orgánicos de buena calidad; la CE fue de 4.82 dS/m⁻¹ presentando ligeros problemas de salinidad, por lo que es recomendable evitar el contacto directo con las semillas o la raíz; la CIC fue alta de 50.0 cmol₍₊₎ Kg⁻¹ lo cual representa una ventaja para la buena disponibilidad de humedad y de nutrientes; la densidad aparente se considera adecuada (0.43 g cm⁻³) y la relación C/N fue de 36.1, más alta que la de la composta y excediendo los valores habituales entre 10 y 20 (Cuadro 4).

Girón *et al.* (2012), para el abono bocashi, reporta para el nitrógeno 2.26 %, en fósforo 0.015%, potasio 0.069%, calcio 0.16%, magnesio 0.089%; y en MO 4.45 %, a pesar de que en general presenta valores menores a los habituales al mezclarlo con composta incrementó los rendimientos, debido a que el bocashi incorpora organismos que ayudan a la descomposición de la materia orgánica de la composta, produciéndose una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo.



Boudet *et al.* (2015), al trabajar un cultivo de pimiento (*Capsicum annuum L.*) var. California Wonder con la aplicación de diferentes dosis de abono orgánico bocashi (1,66; 2,22 y 2,78 tha^{-1} y un tratamiento control sin aplicación), registró resultados positivos para distintas variables evaluadas, incluido el rendimiento, en el que obtuvo incrementos entre 10 y 9,5 tha^{-1} respecto al tratamiento sin aplicación de abono orgánico.

Los resultados que se obtienen en los cultivos, utilizando abonos como el bocashi o la compostas, son una consecuencia del aporte de materia orgánica al suelo, que de acuerdo con Arias *et al.* (2010), la materia orgánica contiene cantidades apreciables de elementos minerales (N, P, K, Ca y Mg) y permite la recuperación de sustancias nutritivas retenidas en el terreno.

9.2 Calidad de la tierra de monte

El pH fue de 6.16, el cual es ligeramente ácido y esto no es favorable para el desarrollo de la lechuga ya que esta crece mejor en pH de 7 – 7.5; la conductividad eléctrica fue de 0.22 dS/m^{-1} , por lo que este suelo no presento problemas de salinidad; la materia orgánica fue de 8.58% considerado como bajo. Se tuvo un contenido bajo para el N (0.00128%), fósforo (0.00024%) al igual que en potasio (0.01433%) (Cuadro 5). En general se tiene un contenido deficiente de macro y micronutrientes de acuerdo al Laboratorio Central de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo.

La tierra de monte resultó de mala calidad, pero al mezclarla con los abonos orgánicos, el sustrato resultante presentó una buena composición química para la nutrición de las plantas de lechuga, así como unas buenas características físicas como textura, estructura y porosidad para una buena retención de humedad (Jaramillo, 2002).

El uso de abonos orgánicos constituye una práctica de manejo fundamental en la rehabilitación de la capacidad productiva de suelos degradados o que contienen poca materia orgánica. La adición de este tipo de abonos incrementa la actividad y cantidad de la biomasa microbiana del suelo, además, sirven como fertilizantes y mejoradores del suelo y presentan una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Fortis-Hernández *et al.*, 2009).

Luna *et al.* (2015), determinaron el efecto de abonos orgánicos en el crecimiento y desarrollo de plantas de tomate. Los resultados mostraron que el uso de abonos orgánicos en plantas de tomate estimuló altura de la planta, número de frutos, diámetro de los frutos y el peso de los frutos.



El que los abonos contengan materia orgánica es esencial y puede considerarse como el principal componente del suelo, ya que de alguna manera se relaciona con casi todas las propiedades del mismo. La estructura favorece su formación, aumenta el tamaño y estabilidad de los agregados, la porosidad aumenta la cantidad de macroporos, la aireación aumenta el volumen de aireación y mejora la circulación del aire, la infiltración aumenta su velocidad, la humedad aumenta la capacidad de retener agua, sobre todo a bajas tensiones y/o si el suelo es arenoso, respecto a los nutrientes aporta algunos (N, P, S principalmente) durante el proceso de mineralización; puede ocasionar fijación de algunos elementos menores (Jaramillo, 2002).

9.3 Germinación del lote de semillas

El porcentaje de germinación de las semillas del lote utilizado de lechuga francesa presentó un porcentaje de emergencia del 43.26%, el cual fue muy bajo comparándolo con los resultados de Martínez (2016), que reporta un porcentaje de germinación del 81% a los 10 días para lechuga francesa.

El bajo porcentaje de germinación obtenido en este trabajo, más que a la viabilidad de las semillas, pudo deberse a un mal manejo del almácigo, como riego excesivo y a una siembra superficial, donde una gran cantidad de semillas en este caso cerca del 57% se perdieron.

El tipo de sustrato utilizado en el almácigo también pudo haber tenido un efecto en la germinación de las semillas de lechuga. Quesada y Méndez (2005), reportan que el tipo de sustrato utilizado puede afectar los porcentajes de germinación de las semillas. Evaluaron diferentes sustratos para la germinación de lechuga (variedad general), donde los mejores sustratos fueron el de las mezclas de peat moss + perlita, en una proporción 75:25 y aserrín de melina madurado + suelo + granza, con proporciones de 40:40:20, presentando una germinación arriba del 84% y, el peor sustrato fue la mezcla de abono orgánico + aserrín de melina madurado + granza, donde la germinación no alcanzó ni el 30% de germinación, la baja emergencia presentada en algunos sustratos, la atribuyen a la densidad de masa del material, a las condiciones propias del medio y en especial a la baja porosidad.

Por otro lado la temperatura no fue un factor limitante ya que el cultivo se realizó en la época de otoño-invierno, Durán (2005), menciona que la semilla germina mejor con temperaturas entre 20 y 26°C, para la germinación de esta lechuga francesa se tuvo una temperatura media promedio de 20.63 °C (Fig. 9).



9.4 Supervivencia

El porcentaje de supervivencia de las plantas en los distintos tratamientos fue del 100% para la variedad de lechuga francesa. Díaz y Lagunes (2015), reportan un porcentaje de supervivencia en lechuga del 84% en un sistema de cultivo en maceta, el cual fue inferior a los resultados obtenidos en este estudio. Navarro *et al.* (2006) mencionan que los factores que afectan la supervivencia de una planta son: las condiciones ambientales, el manejo de la planta, su morfología y su fisiología, a lo que habría que añadir los factores genéticos. Todos los factores para el crecimiento de la lechuga en los tres tratamientos, tales como, la temperatura, radiación solar, nutrimentos, y humedad, permitieron una buena supervivencia de las plantas.

9.5 Altura, cobertura y número de hojas

La altura promedio registrada, en las plantas de lechuga presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, en donde las lechugas cultivadas con bocashi presentaron la mayor altura (13.34 cm) al igual que las cultivadas con composta (13.02 cm), en relación a las lechugas con fertilizante químico que presentaron una altura menor (10.92 cm). Una tendencia similar sucedió con la variable de cobertura, en donde las lechugas de composta presentaron el mayor tamaño (623.48 cm²), luego las de bocashi (577.37 cm²), y las más pequeñas fueron las lechugas testigo con una cobertura de (282.31 cm²).

Martínez (2016), reporta alturas entre 3.7 y 19.1 cm y una cobertura promedio entre 28.9 – 411.3 cm², para tres variedades de lechuga, entre ellas la lechuga francesa cultivada tanto en macetas, muros y sistemas de producción vertical.

La altura y la cobertura presentaron los mejores valores en las lechugas que fueron abonadas con composta y bocashi, lo cual estuvo directamente relacionado con la composición nutrimental del sustrato, gracias a los nutrimentos que proporcionan los abonos orgánicos. Albiach *et al.* (2000), mencionan que el uso de enmiendas orgánicas mejora la condición física y química del suelo, actuando como fuente de carbono y otros nutrientes, no obstante, la respuesta a la incorporación de enmiendas orgánicas es variable y depende del cultivo, tipo de suelo, factores climáticos, prácticas de manejo y de las características del material utilizado.

Moreno (2002), menciona que la materia orgánica es un componente activo del sustrato; su incorporación mejora la estructura del espacio poroso, disminuye la densidad e incrementa la humedad, lo que trae consigo una mejor permeabilidad del suelo y/o sustrato; además, libera dióxido de carbono y ciertos ácidos orgánicos durante la



descomposición, lo que ayuda a disminuir el pH del suelo, a liberar el calcio por la solubilización de los carbonatos y otros minerales del suelo.

Los abonos orgánicos además de proporcionar los nutrimentos esenciales para el crecimiento de la planta, mejoran las poblaciones de microorganismos en el sustrato, ya que son los organismos del suelo los responsables de la transformación de N en formas disponibles para la planta, controlando el proceso de mineralización de N. Las bacterias del suelo son responsables de la inmovilización y mineralización de N del suelo y de los procesos que controlan el suministro de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) (Gutiérrez *et al.* 2017).

Ferrera y Alarcón (2001), mencionan que estos procesos de mineralización, provocan que los nutrimentos contenidos en los residuos y en los abonos orgánicos sean transformados de una forma orgánica a una forma inorgánica, lo cual permite su liberación y disponibilidad para las plantas, de aquí que los tratamientos abonados en este trabajo con composta y bocashi presentaron los mejores valores de altura y cobertura. Por otro lado, la materia orgánica está conformada por compuestos ricos en carbono, nitrógeno, fósforo y agua, principalmente, éstos propician que los microorganismos responsables de la mineralización tengan las fuentes de nutrimentos y energía requeridas para propiciar su desarrollo y metabolismo, contribuyendo con su función en un reciclamiento de nutrientes adecuado en el sustrato que se maneje específicamente para el cultivo de especies agrícolas como la lechuga.

En este trabajo fue indistinto usar el abono composta o bocashi porque la altura y la cobertura que se alcanzaron no fueron estadísticamente diferentes, sin embargo el bocashi presentó la ventaja de acumular la menor cantidad de nitratos en las hojas de las lechugas, las hojas interiores presentaron una acumulación de nitratos de 1,007 ppm, hojas intermedias de 1,967 ppm y las hojas exteriores de 4,400 ppm.

Referente al número de hojas, el testigo presentó un número de hojas (34.32) semejante a la composta (35.32) y estadísticamente diferente en relación al bocashi (26.12) sin embargo el largo y el ancho de las hojas del testigo no alcanzaron un tamaño ideal para su comercialización (Fig. 12).

9.6 Tasa de crecimiento relativo

La TCR promedio registrada para la composta fue de 0.01792 día^{-1} , para el abono bocashi fue de 0.01864 día^{-1} , mientras que para el testigo fue de 0.02364 día^{-1} . Romero (2013) reporta en la lechuga, una TCR que va de $0.020-0.031 \text{ día}^{-1}$. Martínez (2016), obtiene la mejor TCR en la lechuga variedad francesa en el sistema de maceta en el cual las lechugas presentan un mejor crecimiento, aunque no específica cuanto, da valores que oscilan



entre 0.0006-0.016 cm.día⁻¹. Los resultados del presente estudio son superiores a los reportados por Martínez (2016).

En el caso de las lechugas cultivadas con abonos orgánicos alcanzan su talla en un mayor tiempo debido a que en estos abonos menciona Kelderer *et al.*, (2008), la mineralización de los fertilizantes orgánicos es lenta, y no siempre coincide la liberación de nutrientes con las necesidades del cultivo. Esta liberación depende de la velocidad de mineralización, la cual está influenciada por la composición y formulación del fertilizante orgánico. Figueroa *et al.*, (2012) dice que una de las desventajas que presentan los materiales orgánicos frente a los fertilizantes de síntesis química, es el desconocimiento del aporte real de nitrógeno en forma mineral, puesto que la disponibilidad de N después de la aplicación de un abono orgánico no puede ser estimada a partir del contenido de N total, sino que está condicionada por una serie de factores que afectan su liberación, ya sea retardándola o acelerándola.

Kameko (2003) menciona que en el abono orgánico, el N se encuentra en formas orgánicas que deben de ser convertidas a formas inorgánicas que las plantas asimilen. El proceso de conversión de N orgánico a N inorgánico se conoce como mineralización y es un proceso que está controlado por condiciones del suelo como pH, humedad, aireación, y por ciertas propiedades del abono usado, como el grado de madurez y la relación carbono: nitrógeno (C:N), esta relación es uno de los factores más importantes que definen las cantidades de N que serán liberadas por ese abono.

Valores altos en la relación C/N (mayor de 25), implica que la materia orgánica se descompone lentamente, ya que los microorganismos inmovilizan el nitrógeno, por lo que no puede ser utilizado por los vegetales; en cambio, valores menores a 20 corresponden a una mineralización y ruptura de tejidos rápida, ya que la actividad microbiana se estimula, hay nutrientes suficientes para los microorganismos y para los vegetales. Además, la Relación C/N de bacterias y hongos del suelo es menor a 15, lo que implica que con valores bajos de C/N los microorganismos serán más eficientes en la descomposición de la materia orgánica (Gamarra *et al.*, 2017).

La composta tuvo una relación C:N de 16.4 y el bocashi 36.1 a lo que puede atribuirse que hayan presentado la TCR más baja, en comparación con las lechugas fertilizadas químicamente.

En el caso de los fertilizantes la disposición de los nutrientes es más rápida pero los elementos también pueden perderse más fácilmente, Agredo (2014), menciona que estos fertilizantes artificiales, a pesar de que reemplazan el nitrógeno, fósforo, potasio y demás



elementos nutritivos extraídos del terreno, no son un sustituto perfecto que garantice la buena salubridad del terreno, debido a que no aportan materia orgánica, microorganismos, insectos, agua y nutrientes secundarios, elementos extremadamente necesarios para el correcto desarrollo de los cultivos. Hay que tener muy en cuenta que los microorganismos son esenciales para mantener la salud de los suelos. La comunidad microbiana es reducida con respecto al conjunto de la materia orgánica presente en el suelo, pero la mayor parte de las transformaciones que sufre la misma es llevada a cabo por estos microorganismos. Por lo tanto, es esencial para el buen desarrollo de los cultivos, que exista una correcta biodiversidad de estos organismos.

9.7 Variables de biomasa

9.7.1 Índice de cosecha, índice de calidad de Dickson, índice de esbeltez y relación raíz /vástago

El índice de cosecha (IC) no presentó diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$) entre tratamientos, sin embargo los dos abonos orgánicos presentaron los más altos índices de cosecha, en comparación con el testigo, para la composta fue de 0.85 %, en bocashi fue de 0.86% y para el fertilizante químico de 0.84 %. Esto quiere decir que en los tres casos, el 80% de la biomasa producida por la planta, se va a la formación del follaje o parte comestible y de valor económico (Morales-Rosales *et al.*, 2008).

Este índice más alto en los abonos orgánicos puede explicarse debido a que hay una mejor disponibilidad de los nutrientes, aunque el tiempo de respuesta que genera sobre el suelo; normalmente es más lenta, que las generadas por compuestos químicos.

La disponibilidad de nutrimentos de los abonos orgánicos es usualmente baja y variable, si se compara con los fertilizantes minerales; a diferencia de estos últimos, los orgánicos requieren mineralización previa la cual puede durar desde semanas hasta meses, sin que esta sea total ni el único proceso que los afecta. La mineralización está controlada en parte por varios factores como riqueza microbiana, humedad, temperatura, textura y mineralogía del suelo, así como por la calidad de los materiales incorporados, cantidad agregada y forma de aplicación (Castro *et al.*, 2009).

Respecto al índice de calidad de Dickson (ICD), se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos, la composta presentó el mayor índice (6.10), siendo diferente al bocashi (1.84) y al testigo (1.53).

El Índice de Calidad de Dickson indica la potencialidad de la plántula en crecimiento y sobrevivencia en campo, en relación diámetro del tallo, altura de la planta y la masa seca total, parte aérea y del sistema radicular (García, 2007). Varios autores afirman que valores cada vez más altos indican plántulas de mejor calidad e indican una mejor respuesta a las variables antes mencionadas, sin embargo, cuando son inferiores a 0,2,



denotan un desarrollo inadecuado para su establecimiento exitoso (Sáenz *et al.*, 2010), por lo que las plantas cultivadas bajo el abono orgánico composta son las que presentaron la mejor calidad morfológica.

El que las lechugas abonadas con composta hayan presentado la mejor calidad, está relacionado con una mayor acumulación de materia seca, que es un indicador importante para caracterizar el crecimiento de las plantas y la coordinación entre el crecimiento y el desarrollo de un cultivo es importante, conjuntamente con la distribución de masa seca. La asimilación de materia seca y su distribución dentro de la planta, son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo (Jerez *et al.*, 2015).

La fotosíntesis es la fuente primaria de materia seca, Degiovanni *et al.*, (2010), menciona que el crecimiento de una planta depende, en gran medida, de la relación (o balance) entre su fotosíntesis y su respiración; si esta relación es buena, se genera la energía necesaria para la producción de materia seca. La reducción de la respiración en los órganos de la planta no está directamente relacionada con el crecimiento.

El índice de esbeltez (IE) presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, el mayor valor fue para el testigo (0.043), para el bocashi de (0.23) y para la composta de (0.21).

El (IE) es un indicador de la densidad de cultivo, valores entre 5 y 10 indican una mejor calidad de planta, valores sobre 10, indican una planta muy alta, respecto al diámetro, por su parte valores menores a 5, indican una planta de poca altura respecto al diámetro (Quiroz *et al.*, 2009).

Rodríguez (2008) menciona que una planta demasiado alta está desequilibrada y es susceptible de sufrir daños por vientos u otros factores externos, mientras que una planta de poca altura está expuesta a daños por pisoteo y fuego. El diámetro está asociado con el vigor y da resistencia mecánica a daños causados por animales, insectos y temperaturas extremas; en este caso el diámetro define la robustez y entre más robusta sea una planta tendrá más probabilidad de vivir.

La razón raíz/vástago, presento diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, siendo mayor en las plantas cultivadas con composta y bocashi, en relación al testigo, debido a un mayor desarrollo de la raíz, por los beneficios de los abonos como retención de humedad y CIC mayor que permite una mejor disponibilidad de los macro y micronutrientes.

Ansorena y Merino (2014) mencionan que los abonos orgánicos estimulan el desarrollo radicular de las plantas, a mayor contenido de materia orgánica mayor desarrollo radicular permitiendo a las plantas explorar un mayor volumen de suelo para satisfacer sus necesidades de nutrientes y agua, lo que ayuda a un mejor crecimiento de la planta.

Barrios *et al.* (2014), mencionan que la morfología del sistema radical de un cultivo está



definida por la genética, mientras que las condiciones físicas del suelo modifican la distribución espacial de las mismas. El crecimiento de las raíces en el suelo está influenciado por la densidad aparente, porosidad, aireación, agua, temperatura, materia orgánica e impedancia, así como la naturaleza de los horizontes del perfil. Los suelos varían ampliamente en sus propiedades físicas y en su habilidad para favorecer el crecimiento de la raíz.

El crecimiento de las raíces depende del suministro de nutrientes del suelo. A su vez, el crecimiento de la parte aérea depende del transporte de nutrientes desde las raíces. Las raíces requieren de los carbohidratos producidos en la parte aérea por la fotosíntesis, mientras que la parte aérea requiere los nutrientes y el agua absorbidos por las raíces. Los estudios que relacionan las raíces con la parte aérea (biomasa de raíz/biomasa de parte aérea) muestran que existe una interdependencia entre el sistema radical y la parte aérea de la planta y, resaltan la importancia del equilibrio funcional entre las dos partes (Barrios *et al.*, 2014).

9.8 Rendimiento

El rendimiento presentó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, el mayor rendimiento fue para las lechugas abonadas con composta 1.35 kg/m^2 .

Barrientos *et al.*, (2015), menciona que el rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa como materia fresca y seca en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. De esta manera la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo, de ahí que las lechugas con composta obtuvieron un mayor rendimiento ya que obtuvieron los mayores valores de biomasa seca y fresca.

Por otro lado se ha visto un incremento en el rendimiento de la lechuga cuando son sembradas con abonos orgánicos, Muñoz *et al.*, (2015), obtuvo un rendimiento de 5,511 kg/ha, aplicando 1,1520 kg/ha de abono orgánico al cultivo de lechuga.

9.9 Concentración de nitratos en hojas

Las lechugas cultivadas en los tres tratamientos, presentaron diferentes concentraciones de nitratos en sus hojas. En los tres tratamientos, se registraron mayores concentraciones en las hojas exteriores, las cuales excedieron los intervalos para el consumo humano mayor a 4000 ppm (Reglamento de la Comisión Europea, 2006). La concentración de nitratos en las hojas exteriores de la lechuga cultivada con el abono orgánico composta al momento de la cosecha fue de 4,767 ppm, para bocashi de 4,400 ppm y para el testigo (fertilización química) fue de 4,233 ppm.

Las hojas interiores en los tres tratamientos, presentaron las menores concentraciones de



nitratos. El testigo, cultivado con fertilizante químico, fue el que presentó las mayores concentraciones (2,933 ppm), en segundo lugar las lechugas cultivadas en composta (1,433 ppm) y las que presentaron las menores concentraciones fueron las lechugas cultivadas en el bocashi (1,007 ppm). En general para los tres tratamientos, la tendencia fue mayor concentración de nitratos en las hojas exteriores y menores concentraciones en las hojas interiores, lo cuál ha sido reportado por diferentes autores (Carrasco *et al.*, 2006). Las concentraciones de las hojas interiores e intermedias en los tres tratamientos presentaron valores permisibles (<4000 ppm) (Reglamento de la Comisión Europea, 2006).

En todos los tratamientos, el hecho de registrarse mayores concentraciones de nitratos en las hojas exteriores, es consecuencia de que son las primeras hojas que emergen en el cultivo y son las primeras en tomar los nutrientes del suelo, entre ellos el nitrógeno, el cual se absorbe por las raíces de las plantas en forma de nitratos (Gallegos *et al.*, 2000; Meléndez y Molina, 2003) (Anexo 13.3). En estudios anteriores otros autores sustentan que la mayor acumulación de nitratos en las hojas viejas se debe a una menor actividad de la enzima nitrato reductasa, la cual es sustrato inducible (Carrasco *et al.*, 2006). Las hojas interiores presentaron menores concentraciones de nitratos, lo cual es sustentado por diversos autores, quienes han reportado aumentos de la concentración de nitratos en la solución del suelo durante las primeras etapas vegetativas de la lechuga cuando no se producen pérdidas altas por lixiviación y las cantidades de N consumidas son mínimas (Aruani *et al.*, 2008). Los resultados del presente trabajo son coincidentes con lo expuesto anteriormente, atribuyendo el aumento en la concentración de nitratos al exceso del N aportado en relación a lo consumido por el cultivo en la primera fase fenológica (emergencia de la planta hasta la formación de las primeras hojas internas). En la segunda fase, desde la aparición de las primeras hojas internas hasta el final del ciclo, que abarca los 30 días finales del cultivo, es donde se absorbe el 50% de los nutrientes totales y tiene lugar la mayor producción de materia seca (Maroto, 2002). Según Frioni (2006) el contenido de nitrógeno agregado, es consumido en esas etapas fenológicas, y parte se pierde por lavado o es inmovilizado por la biota del suelo.

En el interior de la planta, el nitrato se transforma en amonio y, finalmente, en aminoácidos y proteínas mediante la fotosíntesis. Si la velocidad de absorción es superior a la de transformación, se acumulará nitrato en los tejidos vegetales. Además de las diferentes necesidades de nitrógeno que presentan las distintas plantas y las diversas partes de la misma (tallo, fruto y hoja), la cantidad de nitrato absorbida dependerá también de la que se halla presente en la solución del suelo, por lo que los aspectos genéticos y nutricionales influirán en la absorción. A su vez, la iluminación condicionará la transformación del nitrato absorbido, a través del proceso de fotosíntesis (Raigón, 2007).

Dentro de una planta los contenidos de NO_3^- tienden a ser mayores en los tejidos más viejos que en los más nuevos, Rincón *et al.* (2002) encontraron tres veces más concentración de nitratos en las hojas viejas de lechuga tipo iceberg que en las hojas nuevas, en la recolección, las distintas cantidades de N aportadas produjeron concentraciones de nitratos distintas en hojas, variando entre 1,635 y 4,494 ppm en hojas



exteriores y de 651 a 1,508 ppm en hojas interiores. No siendo así con lo reportado con Cruz (2015) que concluye que aunque los abonos orgánicos aportaron menos cantidad de nitratos a la lechuga, la cantidad de nitratos disminuyó en las hojas externas y tendieron a acumularse más en las internas.

Existen diversos factores que determinan la concentración de nitratos en las hojas, uno de estos es el genotipo; las hortalizas de hoja acumulan más nitrato que las de fruto o de raíz y se presenta una tendencia diferente a la acumulación de nitratos existentes entre las distintas variedades y tipos de una misma especie. A su vez, dentro de cada planta la acumulación de nitrato no es uniforme. Así, la lechuga concentra los nitratos en las hojas exteriores y la espinaca en el pecíolo. Lo mismo ocurre con la acelga, que presenta valores muy superiores en la penca que en el limbo (Beretta, 2011).

El aumento de temperatura favorece la acumulación de nitrato en las plantas, ya que influye en los procesos de osmorregulación celular y favorece la disponibilidad del nitrógeno del suelo. De los factores climáticos, la radiación luminosa es la más importante, reduciendo la intensidad lumínica o la duración del fotoperíodo disminuirá también la velocidad del proceso de fotosíntesis, favoreciendo por tanto la acumulación de nitrato en el material vegetal (Raigón, 2007). Esta es la causa de que las hortalizas cultivadas en países de latitudes inferiores o cercanas al Ecuador, presenten concentraciones de nitrato inferiores a las de los países de latitudes superiores. También explica los valores más elevados presentes en cultivos de invierno respecto de los de verano, o en los de invernadero frente a los de cultivo al aire libre. Por la misma razón, algunos autores desaconsejan efectuar la recolección a primera hora de la mañana, cuando el contenido en nitrato es sensiblemente más elevado que al atardecer. El aumento de temperatura que se produce en los invernaderos respecto del exterior, favorece la acumulación de nitrato en las plantas, aunque su efecto puede verse enmascarado porque, a menudo, las altas temperaturas van asociadas a condiciones de elevada luminosidad. Además, en algunos países de iluminación inferior a la nuestra, los cultivos de invierno han de efectuarse con calefacción para ser rentables, lo que supone un aumento adicional de la concentración de nitratos (Giletto, 2000). Lo anterior concuerda con Harbey (2007), quien alude que al extraer muestras de lechugas en distintos ciclos reproductivos, encontró que existe una correlación positiva entre la radiación solar y la temperatura respecto al contenido de nitratos en lechuga, es decir que los ciclos productivos están gobernados por distintos factores climáticos.

Los factores nutricionales también contribuyen a la concentración de nitratos en las plantas. Una fertilización incorrecta favorece tal aumento, pero este no es el factor más importante de todos los que influyen en el proceso de absorción y acumulación de nitratos en el tejido vegetal. La cantidad de nitrato absorbida depende de la que se halla disuelta en la solución del suelo. Prácticamente todo el nitrato del suelo se halla disuelto en dicha solución, ya que apenas es retenido por el complejo de cambio, por lo que la concentración de la solución dependerá de la cantidad de agua presente en el suelo, siendo máxima en condiciones de sequía. Igualmente; un inadecuado manejo del riego



podría provocar el aumento de la concentración de nitrato en la solución del suelo y su acumulación en la planta (Medina-Morales y Cano-Ríos, 2001).

Aunque la cantidad de agua no suele estar limitada en el cultivo de hortalizas, una concentración elevada de nitratos en el agua de riego (habitual en algunas zonas de agricultura intensiva) favorecerá la absorción y acumulación por la planta. Junto a la cantidad y calidad del agua de riego, influye también la forma y dosis del nitrógeno aplicado como fertilizante. El nitrógeno mineral se disuelve de manera prácticamente instantánea, por lo que se puede calcular con precisión la cantidad a aplicar a partir del análisis de suelo y de las necesidades del cultivo (Powers y McSorley, 2001). En el caso de los abonos orgánicos, y contrariamente a lo que a menudo se afirma, el gran número de variables que condicionan la liberación del nitrato (origen y tipo de estiércol, grado de descomposición, lavado, etc.) hace que su control resulte prácticamente imposible, lo que puede ser causa de diferentes problemas en el cultivo (Kameko, 2003).

En general, la concentración de nitrato en la planta aumenta con la dosis de abonado nitrogenado, aunque este factor interacciona con la iluminación, por lo que es necesario considerar por separado la influencia de ambas variables. (Escalona *et al.*, 2009) evaluó el contenido nitratos provenientes de diferentes fuentes de nitrogenadas, en hojas de lechuga en masa húmeda y seca, entre los resultados encontró efecto del tipo de fuente de N sobre el contenido de nitrato en hojas tanto en materia seca como húmeda.

En un reciente trabajo con lechuga de invierno se reporta una relación clara entre la dosis de abonado nitrogenado y la acumulación de nitrato en la planta, lo que puede explicarse porque, a la citada interacción entre iluminación y abonado, se une la de las bajas temperaturas en que habitualmente se realiza.

En el interior de la planta, el nitrato se transforma en amonio y posteriormente en aminoácidos y proteínas mediante el proceso de fotosíntesis. Si la velocidad de absorción es superior a la de transformación, se acumularán iones nitrato en los tejidos vegetales. Respecto a la actividad de enzimas involucradas en el metabolismo de asimilación de nitrógeno, la actividad de la nitrato reductasa (NR) se relaciona con la eficiencia de utilización de nitrógeno, también influyen en ésta, la absorción de NO_3^- o NH_4^+ y la habilidad de la planta para movilizar y translocar el N a los sitios de demanda (13.3). La actividad de la NR, como la primera enzima que interviene en asimilar al N- NO_3 , es fundamental para la vida de las plantas (Cruz-Flores *et al.*, 2005).

Existen también ciertos microelementos que afectan al proceso de reducción de nitratos como son el molibdeno, el hierro y el sodio. Cada uno de ellos interviene de un modo distinto y su importancia es diferente, con una deficiencia de molibdeno en suelos, existe mayor acumulación de nitratos en las plantas cultivadas, ya que éste elemento interviene en los mecanismos intracelulares de reducción de los nitratos. El hierro es necesario para la fotosíntesis, participa en la reducción de nitratos y otras reacciones enzimáticas de la respiración. La deficiencia aparece en las hojas más jóvenes, disminuye el contenido en



clorofila y se produce una notable reducción en la velocidad de crecimiento. El hierro interviene en la reducción de los nitratos en la segunda etapa, donde los nitritos han de ser reducidos a amonio para la posterior síntesis de proteínas (Raigón, 2007).

En este estudio, el bocashi presentó las mayores concentraciones de hierro (0.37%) lo que puede explicar las menores concentraciones de nitratos en las hojas de las lechugas, al ser este elemento parte de las enzimas nitrato y nitrito reductasa, la composta presentó concentraciones intermedias y los valores más bajos los presentó la tierra de monte.

Los resultados de este estudio permiten recomendar el cultivo de lechuga abonada con bocashi y composta. Las lechugas abonadas con composta presentaron niveles más altos de nitratos en las hojas interiores que aunque permisibles para el consumo, indican que el contenido de nitrógeno en la composta utilizada debe ser máximo del 1% e incrementar el hierro, para mejorar la eficiencia de las enzimas reductoras de los nitratos a nitritos y a amonio.

De lo anterior el hierro es un elemento que interviene en la reducción de los nitratos ya que se encargan de la transferencia de electrones mediante la ferredoxina, y además forma parte de la enzima nitrito reductasa, que contiene un complejo S-Fe. Una mayor concentración de hierro ayuda a disminuir la acumulación de nitratos y nitritos en la planta. En este caso la composta tuvo 0.23% de Fe, el bocashi 0.37% y la tierra de monte de 0.005%.

Este trabajo realizado coincide con los resultados de García (2011) quien determinó el efecto de diferentes abonos orgánicos sobre la acumulación de nitratos en las hojas de lechuga y concluye que los abonos orgánicos tienen efectos significativos sobre los niveles de nitratos sin embargo la dosis que empleo no sobrepasa los valore limite que establece la comunidad europea para las lechugas cultivadas al aire libre con respecto al contenido de nitratos.

9.10 Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) sugiere que el tratamiento (suelo) presenta una menor concentración de MO en relación con el tratamiento composta y bocashi; en donde estos últimos tratamientos tuvieron mayores concentraciones de macronutrientes como P y micronutrientes como Fe, Cu, Zn y Mn; con una mayor CE y pH en relación con el suelo; esto podría estar correlacionado a las mayores coberturas registradas en los tratamientos composta y bocashi en relación al suelo testigo.

El ACP también indicó que el tratamiento composta presenta un mayor Índice de Dickson en relación al tratamiento bocashi y está relacionado a una mayor concentración de bases intercambiables Mg, Ca y K.



X. Conclusiones

La hipótesis del trabajo se cumplió, ya que las lechugas cultivadas con abonos orgánicos, acumularon menores cantidades de nitratos en sus hojas que aquellas cultivadas con un fertilizante químico.

Las lechugas abonadas con bocashi y composta, presentaron contenidos de nitratos en hojas interiores e intermedias, permisibles para el consumo humano (Reglamento de la Comisión Europea)

Las lechugas abonadas con composta, presentaron mejor calidad morfológica, con un mayor tamaño y rendimiento.

Las lechugas cultivadas con fertilizante químico, presentaron la menor calidad morfológica y un contenido de nitratos alto, tanto en hojas interiores, intermedias y externas.

En general las hojas exteriores o más viejas de las lechugas, cultivadas tanto en abonos orgánicos como con fertilizante químico, tienden a acumular mayores contenidos de nitratos.

XI. Recomendaciones

Desarrollar una fórmula para elaborar bocashi con una concentración de nitrógeno menor al 1% para producir lechugas que presenten concentraciones de nitratos tanto en las hojas interiores, intermedias y exteriores con límites permisibles para el consumo humano, y con altas concentraciones de hierro y molibdeno catalizadores de la enzima reductora de nitratos.



XII. Referencias

- Agredo, D. (2014). *Comparación de la eficiencia en la producción de lechuga (Lactuca sativa L.) en un suelo rehabilitado con abono orgánico bocashi y el mismo suelo con fertilizante químico N-P-K* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali.
- Aguilar, L., Escalante, J., Rodríguez, M. y Fucikovsky, L. (2002). Materia seca, rendimiento y corriente geofitoeléctrica en girasol. *Terra*, 20 (3), 277-284.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. y Ingelmo, F. (2000). Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Biores Technol.*, 75 (1), 43-48.
- Alzate, J. y Loaiza, L. (2008). "Monografía del cultivo de la lechuga". En: inteligencia en agroproducción. Colinagro, Bogotá.
- Ansorena, J., Batalla, E. y Merino, D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos. Recuperado de https://issuu.com/horticulturapos cosecha/docs/140711evaluar_compost_ansorena?e=8490508/8773691.
- Añez, B. y Espinoza, W. (2003). Respuesta de la lechuga y del repollo a la fertilización química y orgánica. *Revista forest*, 47 (2), 73-82.
- Arias, E., Martínez, F., Morales, A. y García, C. (2010). *Manual de procedimientos para abonos orgánicos*. ACTAF, MINAG, Editora Agroecológica. La Habana.
- Aruani, Ma. C., Gili, P., Fernández, L., González, R., Reeb, P. y Sánchez, E. (2008). Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquén-Argentina. *Agro sur*, 36 (3), 147-157.
- Azcón- Bieto, J. y Talón, M. (Ed.). (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Barcelona, España: Editorial McGraw-Hill.
- Barrientos, H., Castillo, C. y García, M. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2 (1) 7-118.



- Barrios, M., Buján, A., Debelis, Sokolowski, A., Blasón, A., Rodríguez, A., López, S., De Grazia, J. Mazo, C. y Gagey, Ma. (2014). Relación biomasa de raíz/ biomasa total de soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Tierra Latinoamericana*, 32 (3), 221-230.
- Beretta, A. (2011). *Niveles de nitrato en hortalizas de hoja en Uruguay: valores típicos, rango de variación y evaluación de metodologías de determinación* (tesis de maestría). Universidad de la República Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Bertolí, M., Terry, E. y Ramos, D. (2015). *Producción y uso del abono orgánico tipo bocashi. Una alternativa para la nutrición de los cultivos y la calidad de los suelos*. Mayabeque, Cuba: INCA.
- Bidwell, R. (2002). *Fisiología vegetal*. México: A.G.T Editores.
- Boudet, A., Chinchilla, V., Boicet, T. y González, G. (2015). Efectos de diferentes dosis de abono orgánico tipo bocashi en indicadores morfológicos y productivos del cultivo de pimiento (*Capsicum annuum* L.) var. California Wonder. *Centro Agrícola*, 42 (4), 5-9.
- Briones M. (2007). *Guía práctica para la exportación de lechuga a los Estados Unidos*. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura Representación del IICA. Nicaragua.
- Cabrera, L. (2009). *Comparación de metodologías para la extracción de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la lechuga tipo italiana y sangría* (tesis de licenciatura). UNAM-Facultad de Química. México.
- Cabrera, M.A. y Contreras, N. (2005). *Manual de Agricultura Orgánica sustentable*. Provo, Utah. Benson Agriculture and Food Institute.
- Cáceres, D. (2002). Agricultura orgánica versus agricultura industrial su relación con la diversificación productiva y la seguridad alimentaria. *Agroalimentaria*, (16), 29-39.
- Calleros, E., Alarcón, M., Pérez, R., Cueto, J., Moran, J., y Sanín, L. (2012). Evaluación de riesgo sistémico y niveles de metahemoglobina en niños que consumen agua contaminadas por nitratos. *Ingeniería*, 16 (3), 183-194.
- Calvo, O. y Villalobos, T. (2010). *Producción de diferentes tipos de abonos, repelentes y fungicidas orgánicos. Experiencias de productores en la zona sur de Costa Rica*. Costa Rica: INTA.



- Cárdenas, R., Sánchez, J., Farías, R. y Peña, J. (2004). Los aportes de nitrógeno en la agricultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 10 (2), 173-178.
- Carrasco, G., Tapia, J. y Urrestarazu, M. (2006). Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. *IDESIA*, 24 (1), 25-30.
- Castro, A., Henríquez, C. y Bertsch, F. (2009). Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33 (1), 31-43.
- Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1 (91), 21-29.
- Celaya, H. y Castellanos, A. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29 (3), 343-356.
- Cepeda-Guzmán, A., Valdez-Aguilar, L., Castillo-González, A., Ruiz-Torres, N., Robledo-Torres, V. y Mendoza-Villarreal, R. (2014). Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica con riego superficial y subirrigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (7), 1233-1245.
- Céspedes, M. (2005). *Agricultura orgánica principios y prácticas de producción*. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu.
- Cruz-Flores, G., Flores-Román, D., Alcántar-González, G. y Trinidad-Santos, A. (2005). Fosfatasa acida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fosforo y nitrógeno en cereales. *Terra Latinoamericana*, 23 (4), 457-468.
- Cruz, G. (2006). *Ecología del suelo. Un enfoque hacia la nutrición mineral de plantas superiores*. México: UNAM.
- Cruz, P. (2015). *Nitratos en lechugas (Lactuca sativa L. var. Great Lakes) abonadas con orgánicos y fertilizantes químicos* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.
- Degiovanni, V., Martínez, C. y Motta, F. (Ed.). (2010). *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*. Cali, Colombia: CIAT.
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2006). Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2006/364/L00005-00024.pdf>.
- Díaz, A. y Lagunes, E. (2015), *Factibilidad económica de un proyecto de producción de hortalizas ecológicas como microempresa para pequeños emprendedores* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.



- Didier, J., Mosquera, J. y Torrente, A. (2015). Efectos e impactos ambientales en la producción y aplicación del abono supermagro en el cultivo de sandía. *Revista Ingeniería y Región*, 13 (1), 103-111.
- Durán, F. (2005). *Seguridad alimentaria cultivando hortalizas*. Colombia: Grupo Latino.
- Escalona, A., santana, M., Acevedo, I., Rodríguez, V. y Marco. M. (2009). Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "SPAD" en el cultivo de lechuga. *Revista Agronomía Tropical*, 1 (59), 99-105.
- Evanylo, G., Sheron, C., Spargo, J., Starner, D., Brosius, M. y Haering K. (2008). Soil and water environmental effects of fertilizer manure, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. *Agric. Ecosyst. Environ*, 127, 50-58.
- FAO (2011). *Colección "Buenas prácticas" Aboneras tipo Bocashi*. Guatemala: FAO.
- FAO (2013). El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas: Paraguay: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3361s.pdf>.
- Félix, G. y Sevilla, L. (2008). *Ecología y salud*. México: Mc Graw Hill.
- Ferrera, R. y Alarcón, A. (2001). La microbiología en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*, 8 (2), 175-181.
- Figueroa, A., Álvarez, J., Forero, A., Salamanca, C. y Pinzón, L. (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización en materiales orgánicos. *Temas agrarios*, 17 (1), 32 -43.
- FONAG [Fondo para la Protección del Agua]. (2010). *Abonos orgánicos protegen el suelo y garantizan alimentación sana*. Estados Unidos: Editorial USAID (Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional) y FONAG.
- Fortis-Hernández, M., Leos-Rodríguez, J., Preciado-Rangel, P., Orona-Castillo, I., García-Salazar, J., García-Hernández, J. y Orozco-Vidal, J. (2009). Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero con riego por goteo. *Tierra Latinoamericana*, 27 (4), 329-336.
- Froni, L. (2006). *Microbiología: básica, ambiental y agrícola*. Montevideo, Uruguay: Departamento de Publicaciones de la Facultad de Agronomía. Universidad de la República



- Gallegos, C., Olivares, E., Vázquez, R., y Zavala, F. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra*, 18 (2), 133-1339.
- Gamarra, C., Díaz, M., Vera de Ortiz, M., Galeano, M. del P. y Cabrera, A. (2017). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9 (46), 4-26.
- García, M. D. L. A. (2007). *Importancia de la calidad del plantín forestal*. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Área Forestal de la EEA Concordia del INTA. Concordia, Entre Ríos, Argentina.
- García, M. (2011). *Determinación de nitratos en plantas de lechuga (Lactuca sativa L. var. Great Lakes) fertilizadas con abonos orgánicos* (tesis de licenciatura). Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Coahuila, México.
- Garro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos*. San José, Costa Rica. INTA.
- Giletto, C., Zamuner, E. y Melaj, M. (2000). Efecto del exceso de la fertilización nitrogenada sobre el valor nutritivo e inocuidad en algunas especies hortícolas susceptibles. *Revista Facultad de Agronomía*, 20 (3), 437-442.
- Girón, C., Martínez, C. y Monterroza, M. (2012). *Influencia de la aplicación de bocashi y lombricompost en el rendimiento de calabacín (Cucurbita pepo L.), espinaca (Spinacia oleracea L.), lechuga (Lactuca sativa L.) y remolacha (Beta vulgaris L.), bajo el método de cultivo biointensivo, San Ignacio, Chalatenango* (tesis de licenciatura). Universidad de el Salvador, Salvador.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*, Turrialba, Costa Rica: LITOCAT.
- Gómez, S., Angeles, Ma., Núñez, G. y Figueroa, U. (2013). *Guía de buenas prácticas de manejo de excretas: metodologías para la elaboración de compostas y lombricompostas de excretas de ganado de leche*. México: SAGARPA, inifap.
- Gonzales -Huiman, F. (2011). Contaminación por fertilizantes: << Un serio problema ambiental>>. Artículo relacionado con el desarrollo rural y la agricultura sostenible. Recuperado de <http://fgonzalesh.blogspot.com/2011/01/contaminacion-por-fertilizantes-un.html>.
- Guerrero, E., Revelo, J., Benavides, O., Chaves, G. y Moncayo, C. (2014). Evaluación de sustratos en un cultivo de lechuga bajo un sistema hidropónico en el municipio de Pasto. *Revista de ciencias agrícolas*, 31 (1), 3-16.



- Gutiérrez, A., Ceballos, M., Vega, D. (2013). Evaluación morfológica y de calidad de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en el municipio de Anolaima, Cundinamarca. *Inventum*, (14), 7-12.
- Gutiérrez, J., Cardona, W. y Monsalve, O. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista colombiana de ciencias hortícolas*, 11 (1), 200-209.
- Harvey, M. (2007). *Evaluación económica y agronómica del efecto de la radiación y temperatura sobre la concentración de nitratos para el cultivo hidropónico (NFT) de lechuga (Lactuca sativa L.)* (tesis de licenciatura). Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, Chile.
- Hernández, O., Ojeda, D., López, J. y Arras, A. (2010). Abonos orgánicos y su efecto en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. *Tecnociencia*, 4 (1), 1-6.
- Jakszyn, P. (2006). *Nitrosaminas y riesgo de cáncer gástrico* (tesis de doctorado). Universidad de Pompeu Fabra. España.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional De Colombia.
- Jerez, E., Martín, R. y Morales, D. (2015). Comportamiento de la acumulación y distribución de masa seca en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 36 (4), 70-76.
- Kameko, C. R. (2003). *Determinación del potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en Earth* (tesis de licenciatura), Universidad Earth, Guácimo, Costa Rica.
- Kelderer, H., Thalmeimer, M., Andreaus, O., Topp, A., Burguer, R. y Schiatti, P. (2008). The mineralization of commercial organic fertilizers at 8°C temperature. Ecofruit – 13th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing. Recuperado de <http://orgprints.org/13665>.
- Leyva, G., Sánchez, P., Alcántar, G., Valenzuela, J. Gpe., Gavi, F. y Martínez, Á. (2005). Contenido de nitratos en extractos celulares de pecíolos y frutos de tomate. *Fitotecnia Mexicana*, 28 (2), 145-150.
- López, D., Díaz, A., Martínez, E. y Valdez, D. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19 (4), 293-299.



- Luna, R., Reyes, J., López, R., Reyes, M., Murillo, G., Samaniego, C., Espinoza, A., Ulloa, C. y Travéz, R. (2015). Abonos orgánicos y su efecto en el crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum*, L). *Centro Agrícola*, 42 (4), 69-76.
- Maita, L. F. (2018). *Concentración de nitratos en lechuga (Lactuca sativa L. var. waldman producidas en un sistema hidropónico de raíz flotante utilizando tres soluciones nutritivas, Arequipa-Perú* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. Arequipa, Perú.
- Maroto, J. (2002). *Horticultura herbácea especial*. Madrid, Barcelona: Mundi prensa.
- Martínez, J., Virgen, J., Peña, M. y Santiago, A. (2010). Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1 (3), 289-304.
- Martínez, R. (2008). Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. *Tecnología en Marcha*, 21 (3), 3-13.
- Martinez, V. (2016). *Estudio de factibilidad de un modelo de muro verde para la producción de hortalizas de hoja* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Medina- Morales, Ma. y Cano- Ríos, P. (2001). Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 2 (1), 9-14.
- Meléndez, G. y Molina, E. (2003). *Fertilizantes: características y manejo*. Costa Rica: CIA.
- Morales-Rosales, EJ., Escalante-Estrada, JAS. y López-Sandoval, JA. (2008). Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y Ciencia*, 24 (1), 1-10.
- Moreno, A., García, L., Cano, P., Martínez, V., Márquez, C. y Rodríguez, N. (2014). Desarrollo del cultivo de melón (*Cucumis melo*) con vermicompost bajo condiciones de invernadero. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1 (2), 163-173.
- Moreno, B., Soto, K. y González, D. (2015). El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular. *Rev Chil Nutr.*, 42 (2), 199-205.
- Moreno, J. (2002). La materia orgánica y la capacidad de retención de humedad en sustratos. *Agric. Orgán.* 1, 23-25.
- Muñoz, J.M., Muñoz, J. y Montes, C. (2015). Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayán, Cauca. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 13 (1), 73-82.



- Navarro, S. y Navarro, G. (2000). *Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. España: Mundi-Prensa.
- Navarro, R., del Campo, A. y Cortina, J. (2006). *Factores que afectan el éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta*. Madrid: Organismo Autónomo Parques Nacionales y Ministerio del Medio Ambiente.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021. (2002). SEMARNAT. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>
- Ollúa, R., Logegaray, V. y Chiesa, Á. (2016). Concentración de nitratos en dos tipos comerciales de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas con distintas fuentes nitrogenadas. *Agro-Ciencia*, 32 (3), 194-203.
- Orozco, G., Muñoz, H., Villaseñor, F., Rueda, S., Sigala, J. y Prieto, J. (2010). *Diagnóstico de calidad de planta en los viveros forestales del estado de Colima*. SAGARPA. INIFAP. CIRPAC. Campo Experimental Uruapan, Michoacán, México.
- Pengue, W. (2005). *Agricultura industrial y transnacionalización en América Latina*, Buenos Aires, Argentina: GEPAMA.
- Pérez, J. (2004). Agricultura ecológica: una alternativa al desarrollo sustentable en el campo mexicano. *El cotidiano*, 20 (127), 95-100.
- Powers, L. y McSorley, R. (2001). *Principios ecológicos en agricultura*. Madrid, España: Paraninfo.
- Quesada, G. y Méndez, C. (2005). Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana*, 16 (2), 171-183.
- Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P. y soto, H. (2009). *Vivero forestal: producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Chile: Ministerio de agricultura. INFOR.
- Raigón, M.D., García, M.D., Guerrero, C., y Esteve, P. (2006). Actividad de la nitrato reductasa y su relación con los factores productivos en lechuga. Actas VII Congreso SEAE Zaragoza, Valencia.
- Raigón, Ma. D. (2007). *Alimentos ecológicos, calidad y salud*. Sevilla: Edita: Junta de Andalucía, SEAE.



- Ramos, D. y Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35 (4), 52-59.
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F. y Cabrera, J. (2014). Bocashi: abono orgánico elaborado a partir de residuos de la producción de plátanos en Bocas del Toro, Panamá. *Cultivos Tropicales*, 35 (2), 90-97.
- Restrepo, J. (2007). *Manual práctico El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas*. Managua: SIMAS.
- Riechmann, J. (2000). Agricultura ecológica y rendimientos agrícolas. *Mientras Tanto*, (8), 53-76.
- Rincón, L., Pérez, A., Pellicer, C., Sáez, J. y Abadía A. (2002). Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 17 (2), 303-318.
- Rodríguez, E. (2002). *Bases de conocimientos para generar modelos predictivos de respuesta a los fertilizantes nitrogenados en agroecosistemas cañeros* (tesis de maestría). Universidad Agraria de la Habana (UNAH). Ciudad de la Habana.
- Rodríguez, D. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. México, D. F.: Mundi-Prensa.
- Román, P., Martínez, Ma. y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor experiencias en América Latina*. Santiago de Chile: FAO.
- Romero, E. (2013). *Modelos de producción de cultivos asociados, bajo la influencia de las fases lunares, utilizando camas biointensivas* (tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Rueda, A., Benavides, J. D., Prieto, J.A., Sáenz, J. T., Orozco, G. y Molina, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Rev. Méx. Cien. For.*, 3 (14), 70-82.
- Saavedra, G. (2017). *Manual de producción de lechuga*. Santiago, Chile: INIA.
- Sáenz, R., Villaseñor, R. F., Muñoz, F. H., Rueda, S. A., y Prieto, R. J. (2010). *Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán*. Uruapan, Michoacán, México: Folleto Técnico Núm. 17. SAGRPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimenta Uruapan.



- SAGARPA (2011). *Fertirrigación en el cultivo de lechuga en Guanajuato*. 1ra edición. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Salisbury, F. y Ross, C. (2000). *Fisiología de las plantas*. Madrid, España: Paraninfo.
- Sánchez, M. (2004). *Procesos de conservación poscosecha de productos vegetales*. Madrid, España: Madrid Vicente ediciones.
- Sánchez, T., Siliquini, O., Gili, A., Baudino, E. y Morazzo, G. (2012). Contenido de nitratos y proteína en lechuga cresa y amaranto hortícola producidos con enmienda y urea. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18 (2), 217-226.
- Santamaría, P. (2006). Review nitrate in vegetables: toxicity content, intake and EC regulation. *Food Agric*, 86, 10-17. doi: 10.1002/jsfa.2351.
- Soto, G. (2003). *Agricultura orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza*. Turrialba, Costa Rica: Multiprint.
- Trinidad, A. (2015). *Abonos Orgánicos*. México, Estado de México: SAGARPA y Colegio de Posgraduados.
- Valencia, E., Valenzuela, E., Quevedo, R., y Aedo, V. (2015). Determinación del contenido de nitratos y nitritos en brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*) comercializados en la Ciudad de Osorno, Chile. *Fitogen*, 26 (3), 41-46. doi: 10.4067/S0718-07642015000300007.
- Vallejo, A. y Estrada, E. (2004). *Producción de hortalizas de clima cálido*. Palmira, Universidad Nacional de Colombia.
- Vargas, C., López, A. y Flores, L. (2014). Evaluación de la concentración de nitratos/nitritos y cloruro de sodio en embutidos expendidos en la Ciudad de Tarija. *Ventana Científica*, 1 (7), 1-8.
- Vázquez, P., García, M., Navarro, M., y García, D. (2015). Efecto de la composta y té de composta en el crecimiento y producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 36, 1351-1356.
- Velásquez, P., Ruíz, H., Chaves, G. y Luna, C. (2014). Productividad de lechuga *Lactuca sativa* en condiciones de macrotúnel en suelo Vitric haplustands. *Ciencias Agrícolas*, 31 (2), 93 – 105.



XIII. Anexo

13.1 Elaboración de abonos orgánicos

Bocashi de 21 días

La elaboración de abonos orgánicos fermentados se puede entender como un proceso de semi-descomposición aeróbica (con presencia de oxígeno) de residuos orgánicos por medio de poblaciones de microorganismos, que existen en los propios residuos, con condiciones controladas, y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición en condiciones favorables y que son capaces de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir la tierra (Restrepo, 2007).

El bocashi es un abono fermentado que se obtiene procesando materiales que son producto de actividades agrícolas (rastrajo, cascarilla, etc.), y que pueden ser utilizados y sustituidos según la disponibilidad que exista en la región (FAO, 2011).

Algunas de las ventajas son (FONAG, 2010 y Restrepo, 2007):

- ❖ No se forman gases tóxicos ni surgen malos olores.
- ❖ No causa problemas en el almacenamiento y transporte.
- ❖ El producto se elabora en un período relativamente corto (dependiendo del ambiente).
- ❖ El producto se utiliza inmediatamente después de preparado.
- ❖ Se pueden elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde se realicen actividades agropecuarias.
- ❖ Se autorregulan “agentes patogénicos” en la tierra, por medio de la inoculación biológica natural, principalmente de bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras, entre otros
- ❖ Por medio de la inoculación y reproducción de microorganismos nativos presentes en los suelos locales y levaduras, los materiales se transforman gradualmente en nutrientes de excelente calidad disponibles para la tierra, las plantas y la propia retroalimentación de la actividad biológica.

Metodología

Para la elaboración de este abono orgánico se siguió la técnica y se emplearon los insumos propuestos por el Centro de Capacitación en Agricultura Urbana Ecológica “Chimalxochipan” de la FEZ Zaragoza, de la UNAM en donde para producir 100 kg de bocashi tradicional se emplearon los siguientes materiales:



- ❖ 10 kg de hojarasca
- ❖ 4 L de melaza
- ❖ 225 g de levadura
- ❖ 30 kg de tierra
- ❖ 18 Kg de salvado de trigo
- ❖ 1 g de cal
- ❖ 1 g de roca fosfórica
- ❖ 1g de zeolita
- ❖ 7.5 kg de carbón
- ❖ 2 L de leche
- ❖ 30 kg de estiércol
- ❖ 11 L de microorganismos eficientes concentrados

Para comenzar con la preparación se colocó un plástico en el suelo, en un lugar seco y que estuvo protegido de las lluvias, viento y exposición directa al sol.

Se incorporó primeramente una capa de la hojarasca, tierra, salvado de trigo y estiércol, se extendió tratando de formar un rectángulo. Teniendo ya esta primera capa, enseguida se le agregó el carbón, melaza (previamente diluida en agua), cal, roca fosfórica, zeolita, leche y los microorganismos eficientes, todo se va regando con suficiente agua y removiendo con una pala.

El paso anterior se repitió hasta terminar con todos los materiales, terminando cada capa se removió todo muy bien hasta generar una mezcla completa y uniforme. Una vez lista la mezcla se realizó la prueba de puño que consiste en tomar un poco de la mezcla en la mano y apretar, el punto óptimo es que esta mantenga su forma y no escurra, si el agregado se desmorona quiere decir que está muy seco y habría que añadirle agua y si al apretar hay un exceso de humedad se soluciona agregando material seco, esta prueba es para comprobar que la mezcla no tiene un exceso o una falta de agua. La humedad óptima para lograr la máxima eficiencia del proceso de la fermentación del abono, oscila entre el 50% y el 60% (en peso) o sea, los materiales están vinculados a una fase de oxidación (Restrepo, 2007).

Ya obtenida la mezcla final con la humedad adecuada se tapó perfectamente con el mismo plástico en el que se preparó, teniendo el cuidado de que no dejar nada descubierto por efectos de fermentación. Del día 1 al 6 se voltio una vez al día, para checar la temperatura y humedecerlo, en caso de ser necesario. Al cabo de 21 días este abono fermentado está listo.



Composta

La composta es un material orgánico que se obtiene como producto de la acción controlada de los microorganismos sobre residuos orgánicos tales como hojas, rastrojos, cáscaras, basuras orgánicas caseras, subproductos maderables (aserrín), ramas, estiércoles y residuos industriales de origen orgánico. Así mismo, se conoce como compostaje al proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica por medio de la acción de bacterias aerobias termófilas que están presentes (de forma natural) en cualquier lugar, y su posterior fermentación por otras especies de bacterias, hongos y actinomicetos (Gómez, Angeles, Núñez y Figueroa, 2013).

El compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas. Por otra parte, el compost presenta un alto contenido de materia orgánica con las ventajas que ello conlleva (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

Metodología

Para la elaboración de esta composta se siguió la técnica y se emplearon los insumos propuestos por el Centro de Capacitación en Agricultura Urbana Ecológica “Chimalxochipan” de la FEZ Zaragoza, de la UNAM. Para obtener un rendimiento neto de 129.5 kg, se emplearon los siguientes materiales:

- ❖ 72 kg de materia orgánica (residuos de fruta y verdura)
- ❖ 50.95 Kg de residuos de poda
- ❖ 40 kg de estiércol

Sobre el suelo, se colocó una capa de todos los materiales, primero una capa de estiércol, luego se agregaron los residuos de poda y finalmente los residuos de fruta y verdura. Posteriormente se inició nuevamente con capas sucesivas de materiales en el orden que se ha indicado y humedeciendo muy bien al final de cada capa. Todos los materiales se fueron apilando.

Al final de todas las capas se revolviaron todos los materiales hasta que quedó una mezcla homogénea de todos los componentes de la composta. Finalmente se tapa la revoltura, de manera que inicie el ascenso de la temperatura.



Se revisó la temperatura diariamente, de manera que en el centro de la composta, no se rebase los 65°C, temperatura a la cual se mueren los microorganismos patógenos que pudieran existir en la composta. Esperar a que los microorganismos hagan su función de formación de nuevos compuestos (humus), lo cual puede llevar de un mes y medio a seis meses, dependiendo de los materiales que se utilicen, la temperatura del medio ambiente, la humedad de la composta y del inóculo que se use. Se considera que una composta está terminada cuando en primer lugar no existe temperatura alta, la coloración de la composta húmeda debe ser de color negro, y el olor debe ser agradable, como de tierra de encino o tierra húmeda (Gómez *et al.*, 2013).

El compost se puede aplicar semimaduro o ya maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro (Román *et al.*, 2013).



13.2 Interpretación del análisis de la composta

Parámetro	Valores habituales	Observaciones
Humedad %	30-60	Este parámetro es una medida del porcentaje de agua del compost. Una humedad superior al 60% puede ser indicativa de condiciones de insuficiente aireación. Valores inferiores al 30% puede reflejar insuficiente estabilización del compost, por falta de humedad.
Materia orgánica %	30-60	Indica el porcentaje de la materia seca que permanece como materia orgánica tras el proceso de compostaje. Valores inferiores al 30% normalmente indican que el compost está mezclado con arena, suelo, cenizas u otro compuesto mineral. Valores superiores al 60% indican que los residuos no están suficientemente compostados.
Relación C/N	10-20	Es el cociente entre las cantidades de carbono y de nitrógeno del compost. Si es muy elevado indica que es un compost inmaduro y se puede reducir la disponibilidad de nitrógeno para las plantas.
pH	6,5-8,5	En una medida de a acidez o basicidad del compost. A valores excesivamente elevados pueden producirse olores y pérdidas de amoníaco.
Conductividad dS m⁻¹	500-4,000	Es una medida de sales solubles presentes en el compost. Valores superiores a 4.000 pueden producir un efecto de deshidratación en las plantas, sobre todo si se usa el compost como sustrato en proporciones elevadas en macetas, jardineras, etc. Menos crítico si se aplica como abono sobre el suelo, especialmente en zonas húmedas.
Nitrógeno, % N	1,0-2,5	Los valores de los nutrientes minerales dependen en gran medida del biorresiduos de partida (proporción de residuos de jardín y de cocina), de proceso de compostaje (industrial o autocompostaje) y del cribado de la muestra.
Fósforo, % P₂O₅	0,40-1,2	
Potasio, % K₂O	0,50-1,3	



13.3 Asimilación del nitrógeno en dos tipos de producción agrícola

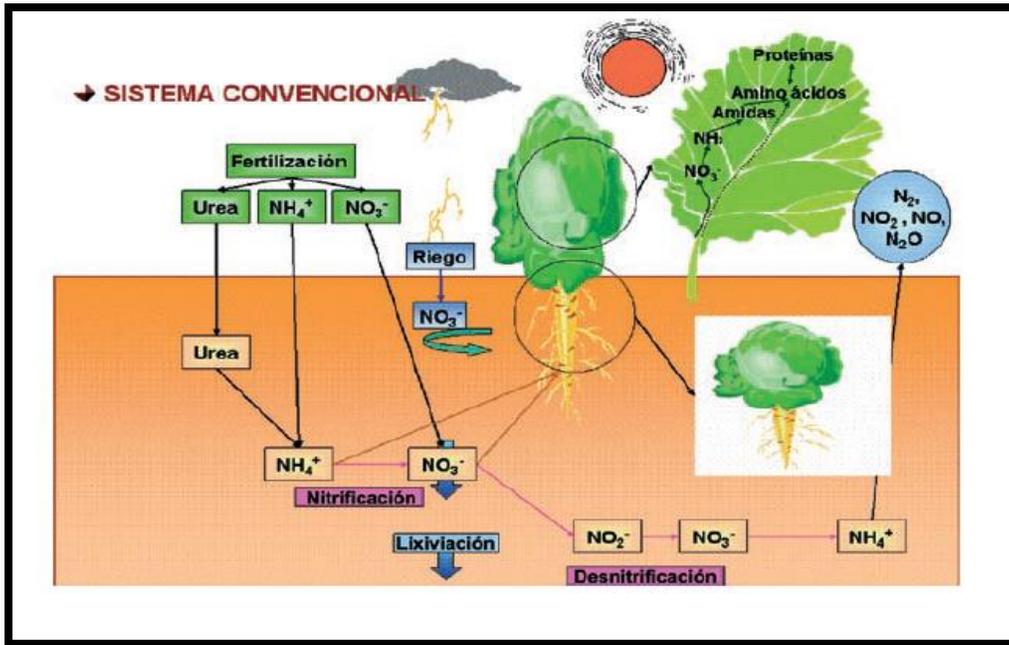


Figura 1. Ciclo del nitrógeno en un sistema de producción agrícola convencional. (Raigón, 2007)

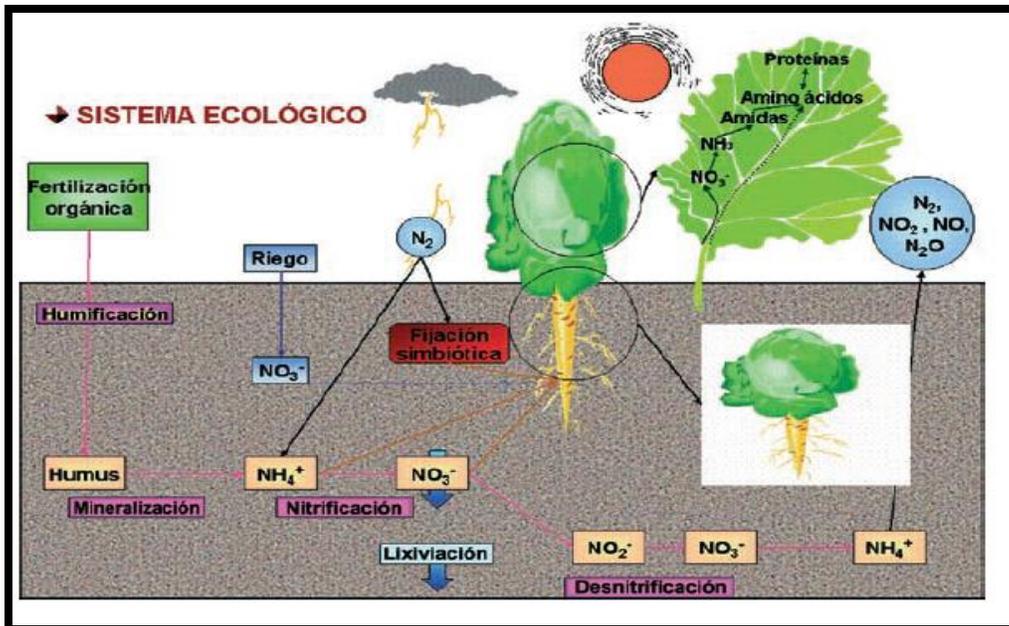


Figura 2. Ciclo del nitrógeno en un sistema de producción agrícola ecológico. (Raigón, 2007).

