



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CARRERA DE BIOLOGÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN ECOLOGÍA VEGETAL

**Concentración de nitratos en lechuga orejona
(*Lactuca sativa* L. var. Parris Island) en un cultivo
intercalar con hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.)**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

PRESENTA:

CLAUDIA CECILIA BARRERA AGUILAR

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. MA. SOCORRO OROZCO ALMANZA

Ciudad de México

Octubre 2020



Investigación realizada con financiamiento de la DGAPA (PE 202720)



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

“Encuentra tu pasión, sea lo que sea. Conviértete en ella y déjala convertirse en ti y te darás cuenta que grandes cosas pasarán para ti, por ti y gracias a ti”.

T. Alan Armstrong

Dedicatoria

A las mujeres de mi vida:

Mi abuela, Silvia Aguilar Salazar, por todos sus cuidados y amor a lo largo de mi vida, por ser mi imagen de fortaleza y entrega y porque gran parte de lo que soy se lo debo a ella.

Mi madre, Margarita Aguilar Salazar, por todo su amor, valentía y esfuerzo y por ser mi mayor ejemplo de vida al demostrarme que no hay imposibles. Sin ella nada de esto sería posible.

Mi prima, Brenda Leticia Méndez Alvarado, por haber sido mi mejor amiga, mi ejemplo de dedicación y bondad y enseñarme que las cosas son mejores si las haces con amor. A pesar de su ausencia física sé que una parte de ella siempre estará conmigo.

Las amo con el alma

Agradecimientos

A Silvia y Margarita, mis mamis, todo mi amor y eterno agradecimiento.

A Ángeles, mi tía, por cuidarme y quererme como una hija más; por siempre todo mi agradecimiento y amor.

A Adara, por acompañarme a lo largo del camino, por cada risa y cada pelea, por ser un enorme ejemplo para mí y por apoyarme siempre, te amo inmensamente.

A Alarcia, por cuidarme y apoyarme; a pesar de las diferencias siempre serás parte importante de mi vida. Te amo.

A Ana, con todo mi amor por los momentos compartidos, por creer en mí y apoyarme incondicionalmente y por celebrar mis logros, incluso más que yo misma. Eres parte fundamental de mi vida.

A Erick, por el apoyo, motivación y paciencia brindados en este proceso, así como por los momentos vividos y los que están por venir. Te amo.

A Semiramis, por todo lo vivido, por alegrarme siempre y por hacer más bonita mi vida. Te quiero inmensamente.

A la FES Zaragoza, por abrirme sus puertas y ser mi segundo hogar y darme la oportunidad de continuar mi desarrollo profesional, por todo el aprendizaje recibido en sus aulas y fuera de ellas y por las grandes personas que conocí.

A la Dra. María Socorro Orozco Almanza, mi directora de tesis, por su dedicación y paciencia a lo largo de este proyecto, por motivarme a llevar este trabajo a más lugares y sobre todo por inculcarme el amor por la Agroecología a través de sus enseñanzas.

A la Biol. María de Jesús Rojas Cortés y el Biol. Roberto Ramos González, por sus enseñanzas y apoyo incondicional en el vivero.

Al Biol. Eduardo Chimal Sánchez por su gran apoyo en la parte estadística de este proyecto.

A mis sinodales: Dr. Arcadio Monroy Ata, Dra. Rosalva García Sánchez, Biol. María Magdalena Ordóñez Reséndiz y Biol. Juan Romero Arredondo, por su paciencia, su tiempo y consejos en la revisión de este trabajo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1 INTRODUCCIÓN	2
2 ANTECEDENTES.....	3
2.1 Características de la lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	3
2.1.1 Ciclo reproductivo.....	5
2.1.2 Usos y valor nutricional de la lechuga	7
2.2 Características del hinojo (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.).....	8
2.3 Nitratos en hortalizas.....	9
2.4 Mecanismo de absorción de nitratos	11
2.5 Asimilación del nitrato	12
2.6 Acumulación de nitratos.....	14
2.7 Prácticas agroecológicas como alternativas para reducir la acumulación de nitratos en hojas de hortaliza de follaje.....	16
2.7.1 Rotación de cultivos	17
2.7.2 Asociación de cultivos o policultivos.....	17
2.7.3 Abonos orgánicos.....	19
2.8 Alimentos ecológicos	23
2.8.1 Calidad de la planta	25
2.9 Antecedentes sobre trabajos relacionados con el tema.....	28
3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	29
4 HIPÓTESIS	29
5 OBJETIVOS	30
5.1 General	30
5.2 Específicos	30
6 MÉTODO.....	31
6.1 Diseño del experimento.....	31
6.2 Medición de variables de crecimiento.....	32
6.3 Medición de la biomasa.....	33
6.4 Medición de los atributos de calidad morfológica	33

6.5	Medición de los atributos de la calidad fisiológica	34
6.6	Uso equivalente del terreno (UET)	35
6.7	Costos de producción	36
6.8	Análisis estadístico	36
7	RESULTADOS	37
7.1	Atributos de la calidad fisiológica.....	37
7.1.1	Nitratos	37
7.1.2	Clorofila	38
7.1.3	Grados Brix	39
7.2	Atributos de la calidad morfológica	40
7.3	Atributos del rendimiento.....	40
7.4	Variables del crecimiento.....	42
7.4.1	Altura, cobertura y número de hojas	42
7.5	Relación beneficio-costos.....	44
8	DISCUSIÓN	45
8.1	Atributos de la calidad fisiológica.....	45
8.1.1	Nitratos, clorofila y grados brix	45
8.2	Atributos de la calidad morfológica	48
8.2.1	Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Relación R/V e Índice de Calidad de Dickson (ICD)	48
8.3	Atributos del rendimiento.....	50
8.3.1	Peso fresco y peso seco en raíz	50
8.4	Variables de crecimiento.....	51
8.4.1	Altura, cobertura y número de hojas	51
9	CONCLUSIONES	52
10	REFERENCIAS	53
	ANEXO 1. Reglamento de la Comisión de la Unión Europea.....	63
	ANEXO 2. Elaboración del abono orgánico bocashi.....	66
	ANEXO 3. Análisis nutricional del abono bocashi.....	69
	ANEXO 4. Galería de fotos	70

RESUMEN

Mediante la implementación de técnicas agroecológicas como la asociación de cultivos (policultivos) y la aplicación de abono orgánico bocashi, se buscó reducir la concentración de nitratos en hojas de lechuga orejona (*Lactuca sativa* L.). El estudio consistió en dos tratamientos: un policultivo de lechuga-hinojo y un monocultivo de lechuga, cultivados a cielo abierto en dos parcelas separadas. La siembra fue directa y cada tratamiento tuvo 25 repeticiones. Durante el desarrollo de las lechugas se midió el contenido de nitratos (NO_3^-) presentes en sus hojas, así como otros atributos fisiológicos, morfológicos y de rendimiento. Las concentraciones promedio de nitratos obtenidas fueron de 1583 ppm en el monocultivo y de 651 ppm en el policultivo; sin embargo, en ambos casos los valores están dentro de los límites permisibles establecidos por la Legislación de la Unión Europea para el consumo humano. Si bien el contenido de nitratos en ambos tratamientos es aceptable, el uso de bocashi y el asocio de lechuga-hinojo redujeron en un 58.87 % la concentración de nitratos en el policultivo con respecto al monocultivo.

1 INTRODUCCIÓN

Una hortaliza se define como la porción comestible de una planta herbácea de ciclo anual, y que puede ser consumida en estado fresco, cocido o preservado. Las hortalizas constituyen un alimento fundamental por su alto contenido de agua, fibra, vitaminas y minerales; además posee un bajo contenido calórico y carece de grasas, contribuyendo así a formar parte indispensable de la dieta de los humanos (Gómez *et al.*, 1991; CEDRSSA, 2020). Sin embargo, las hortalizas tienden a acumular una gran cantidad de nitratos en sus hojas, ya que entre el 72 y 94% de nitratos que se ingieren diariamente provienen de estos alimentos, principalmente la acelga, espinaca y lechuga (Sánchez, 2010).

El cultivo de hortalizas en México es una importante fuente de recursos económicos, siendo la lechuga (*Lactuca sativa* L.) uno de los principales cultivos. En 2017 tuvo una superficie de 21,149 ha, con rendimiento promedio de 22.9 t ha⁻¹ y con valor económico de 1,843 millones de pesos. La lechuga se cultiva en suelo a campo abierto, bajo régimen de temporal o riego (SIAP, 2016). Con la finalidad de aumentar los rendimientos en su producción, se recurre al uso de fertilizantes químicos, provocando una mayor acumulación de nitratos en las hojas de la lechuga, lo que ha traído consecuencias graves a la salud humana, sin contar el daño ambiental que el uso de estos productos ocasiona (Gliessman, 2002; Rincón-Sánchez, 2005; Raigón-Jiménez, 2010).

El consumo de alimentos con elevados contenidos de nitratos (NO₃⁻) puede ser nocivo para la salud, ya que éstos pueden reducirse a nitritos (NO₂⁻) en el cuerpo, combinarse con la hemoglobina de la sangre y causar metahemoglobinemia, que se caracteriza por inhibir el transporte de oxígeno en la sangre (Martínez *et al.*, 2011). Asimismo, pueden reaccionar con aminas secundarias, terciarias y amidas, provenientes de otros alimentos, y formar *N*-nitrosocompuestos de formación endógena, que son cancerígenos en más de 40 especies animales, incluyendo mamíferos, aves, reptiles y peces (Sánchez *et al.*, 2012).

Sustituir los fertilizantes químicos por orgánicos (bocashi, compostas y lombricompostas) puede reducir significativamente la acumulación de nitratos en las hortalizas de hoja verde, aumentando además el contenido de materia orgánica, y por lo tanto incrementando el porcentaje de nitrógeno total en el suelo (Trinidad-Santos, 2011). Así mismo, la asociación de cultivos o policultivos, que consiste en hacer coincidir en tiempo y espacio más de una especie, para que las plantas por medio de sus raíces segreguen sustancias que favorezcan o rechacen otras plantas vecinas, puede influir sobre la disponibilidad de nutrientes, como el nitrógeno, dándose de esta manera, acciones favorables o desfavorables entre las plantas de la asociación.

Un ejemplo de policultivo es la combinación de hinojo con lechuga, ya que estudios con esta asociación han registrado que los iones nitrato en las hojas de la lechuga bajan significativamente en relación al monocultivo de lechuga, ya que el hinojo puede actuar como planta trampa para los nitratos presentes en el suelo (Raigón-Jiménez, 2008), sin embargo, esto no ha sido estudiado para todas las variedades de lechuga. Por lo que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de un cultivo intercalar (hinojo-lechuga), en la concentración de nitratos en las hojas de la lechuga orejona, una de las variedades más consumidas en México.

2 ANTECEDENTES

2.1 Características de la lechuga (*Lactuca sativa* L.)

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) en sus diferentes formas y colores, es una de las hortalizas más comunes y consumidas en todo el mundo, aunque su principal producción se concentra en zonas más templadas y subtropicales. En la actualidad se cultiva al aire libre e invernaderos, en suelo o en forma hidropónica. La lechuga presenta una gran diversidad, dada principalmente por los diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Esto ha llevado a diversos autores a distinguir variedades botánicas en la especie, existiendo varias que son importantes como cultivos hortícolas en distintas regiones del mundo. (Saavedra *et al.*, 2017).

Fue descrita por el científico naturalista sueco Carlos Linneus en el año 1753. *Lactuca* es un nombre genérico que procede del latín *lac* (que significa “leche”), 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 *et al.*, 2017).

La lechuga es una hortaliza de clima frío, con cierta tolerancia a heladas débiles en sus estados iniciales, pero cerca de la cosecha es susceptible a quemaduras de las hojas externas por temperaturas muy bajas, quedando muy expuestas a ataques de enfermedades (Giaconi *et al.*, 2001). La temperatura óptima de crecimiento está entre 14 y 18°C; prefiere temperaturas frescas para formar una cabeza más compacta. La mínima es de 12°C; bajo esta temperatura la planta no crece, y la máxima entre 18 y 24°C; temperaturas superiores producen deterioro de la lechuga por crear cabezas más sueltas y con tendencia a emisión de tallo floral o “subida”. Sin embargo, estas temperaturas son generales. Cada tipo de lechuga, e inclusive variedad, tiene requerimientos propios de temperatura para su crecimiento (Casaca, 2005; Saavedra *et al.*, 2017).

La lechuga pertenece a la familia Compositae. Es una planta herbácea anual, dicotiledónea y autógama, de cabeza paniculada y flor amarilla. Posee una raíz principal pivotante, corta, con pequeñas ramificaciones que puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad. Su tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1.2 m de longitud, y comienza el periodo reproductivo.

El tallo simple termina en una inflorescencia, la cual es una densa panícula corimbosa compuesta por muchos capítulos; cada uno consiste en varios floretes que varían entre 12 y 20. Estos floretes son de tipo rayo, perfectos y fértiles, rodeados de 3 o 4 filas de brácteas. Cada florete consiste en un simple ligulado pétalo amarillo con cinco dientes. La parte baja está fusionada como un tubo y rodea los órganos sexuales. Cada florete tiene un carpelo doble, que consiste en un estilo elongado y un estigma dividido (Jaramillo *et al.*, 2016; Saavedra *et al.*, 2017).

Sus hojas pueden ser lanceoladas, oblongas o redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado; todas estas características dependen del tipo y la variedad, así como de la presencia de antocianinas, que pueden estar en toda la hoja o en sectores, dando tonalidades diferentes (Jaramillo *et al.*, 2016; Saavedra *et al.*, 2017).

2.1.1 Ciclo reproductivo

La semilla de la lechuga es botánicamente un aquenio, definido como un fruto seco e indehiscente de una sola semilla. La primera fase es la imbibición con agua, que penetra e hidrata las membranas celulares; una vez activadas, comienza el crecimiento de la radícula hasta que rompe la testa y comienza la elongación; sigue después la aparición de los cotiledones. Este proceso es de crecimiento y elongación de tejidos, y es dependiente de las reservas alimenticias que tenga la semilla y de la humedad presente (Saavedra *et al.*, 2017). Un factor importante en la germinación de la semilla es la temperatura. El rango óptimo es de 18 a 21°C. Temperaturas sobre 26°C pueden inhibirla, esto es llamado termodormancia. Sin embargo, el periodo de termodormancia va a depender del tipo y variedad que se trate (Medina, 2017; Saavedra *et al.*, 2017).

De acuerdo a la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), 2015 y Saavedra *et al.*, 2017, una vez que aparecen los cotiledones comienza el proceso de crecimiento, que puede ser dividido en cinco estadios:

1. **Plántula:** Comienza una vez que ha ocurrido la protrusión de la radícula a través de la cubierta seminal hasta la aparición de la tercera o cuarta hoja verdadera; toma desde la emergencia de 2 a 3 semanas.
2. **Roseta:** Durante esta etapa se disminuye la relación largo/ancho de las hojas. La plántula continúa generando hojas verdaderas; se forman de 12 a 14 hojas, siendo

cada hoja nueva más ancha que la precedente, pero su estructura varía según el tipo de lechuga.

- 3. Encabezamiento:** Continúa el descenso de la relación largo/ancho en las nuevas hojas, caracterizado por el encorvamiento de la nervadura central sobre el punto de crecimiento de la planta. Hojas curvadas continúan saliendo hasta que son completamente envueltas por las hojas exteriores. La tasa de formación incrementa con aumento de la intensidad de luz recibida a una temperatura constante o bien, cuando la luz es constante y la temperatura incrementa. Hay variedades que no forman cabeza.
- 4. Madurez:** En esta etapa se han formado un gran número de hojas en el interior, generando un cogollo firme. Tiene una duración de 60 a 120 días. **Sobremadurez:** las hojas se continúan expandiendo hasta que se forman grietas por la presión.
- 5. Floración:** El tallo floral emerge a través de la parte superior del cogollo, produciendo una flor terminal, la cual limita la altura final de la planta. El tallo floral genera ramificaciones, formando las floraciones secundaria y terciaria; la inflorescencia de la lechuga se llama capítulo y contiene alrededor de 24 floretes. Las flores se forman entre los 50 y los 70 días. Cada flor abre solamente una vez y permanece así sólo parte del día, dependiendo de la temperatura e intensidad de la luz, desde 1 día a varias horas. Después de 12 a 14 días del desarrollo de la flor, el involucro se seca y se abre, generando semillas. La fertilización ocurre durante el periodo en que la flor está abierta. Los aquenios maduran alrededor de 2 semanas después de la apertura floral; sin embargo, altas temperaturas aumentan la tasa de desarrollo y maduración. Los órganos reproductivos de la planta se forman de manera temprana, aunque su crecimiento se genera después del término del ciclo vegetativo.

2.1.2 Usos y valor nutricional de la lechuga

El valor nutricional de la lechuga resalta por su contenido de vitaminas y minerales. Dadas sus mínimas propiedades calóricas, se ha tornado en un ingrediente básico en las dietas alimenticias. Es una fuente importante de calcio, hierro y vitamina A, proteína, ácido ascórbico (vitamina C), tiamina (vitamina B1), riboflavina (vitamina B2) y niacina. Este contenido nutricional difiere según su variedad y la posición de la hoja en la cabeza, ya sean hojas externas o internas; por ejemplo, de manera general, las hojas externas son más ricas en vitamina C; por otro lado, la lechuga cos o romana y de hoja, aventajan a la lechuga de cabeza por su contenido en vitamina A y vitamina C; esto ocurre, probablemente, por la mayor proporción de tejido verde producido por esas variedades (Rozano *et al.*, 2005; Valdés, 2015; Jaramillo *et al.*, 2016). También resulta una fuente importante de vitamina K, por lo que protege de la osteoporosis. Otra vitamina que destaca en la lechuga es la E y el ácido fólico, así mismo aporta mucho potasio y fósforo, y un 94% de su composición es agua (Jaramillo *et al.*, 2016).

La lechuga tiene funciones medicinales; es refrescante y digestiva; posee virtudes calmantes y notable eficacia como soporífero debido a la presencia de ciertas sustancias como la lactucina y la lactucopirina; por tanto evita el insomnio, el nerviosismo, el mal humor, la irritabilidad, entre otras. También se utiliza para tratar taquicardias, enfermedades cutáneas, reumatismo, obesidad, edemas, nefritis, cálculos renales y afecciones del aparato respiratorio; sin contar con que es diurético, mejora la circulación, previene la arterioesclerosis, disminuye el colesterol y actúa como analgésico (CCB, 2015; Valdés, 2015; Jaramillo *et al.*, 2016). Tiene acción antioxidante, lo cual está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer (Osorio-Bedoya y Lobo-Arias, 1983; Jacobo-Velázquez y Cisneros-Zevallos, 2009).

Macerada junto con avena y pepino, sirve como pomada que alivia irritaciones de la piel, alergias, erupciones y quemaduras. También asociada con achicoria y escarola, sirve para prevenir la desmineralización y sus consecuencias, por ejemplo: raquitismo, tuberculosis, caries dentaria y ósea.

Además, la cantidad de celulosa y agua orgánica que contiene en sus tejidos ayuda considerablemente en el proceso digestivo (Jaramillo *et al.*, 2016). Otro uso que se le da a la lechuga es en la elaboración de conservas y en la fabricación de cremas cosméticas (CCB, 2015).

2.2 Características del hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.)

El hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.) es una planta herbácea, pertenece a la familia Umbelliferae, es una planta aromática bianual que puede llegar a medir hasta 2 m de alto. Tiene un tallo brillante, finamente estriado, erecto, sólido y redondo, con franjas azulosas y con numerosas ramas. La raíz es blanquecina y sus hojas son alternas, de color verde intenso, largas, delgadas y están divididas en segmentos en forma de aguja. Presenta flores amarillas que crecen en umbelas planas y terminales que carecen de brácteas. El ciclo del hinojo es de 80 días y comienza con las semillas. El fruto es un aquenio oval de color amarillo verdoso, posee un intenso sabor dulce, similar al anís (Alonso-Esteban, 2015; Escamilla *et al.*, 2015; MINSAL, 2015).

El hinojo es una planta totalmente comestible; se le atribuyen propiedades principalmente medicinales, ya que se utiliza para equilibrar las funciones del sistema digestivo: contribuye a expulsar gases, reduce la hinchazón y las flatulencias, además es un buen estimulante del apetito. Otro uso que se le da es a nivel respiratorio, principalmente en tratamientos contra la tos crónica, ya que contribuye a descongestionar las vías respiratorias. También se emplea para combatir el dolor menstrual, el insomnio, e infección en los riñones. Sin contar con que posee propiedades diuréticas, lo que es útil en casos de hipertensión. Se utiliza para controlar los nervios alterados y como estimulante lactógeno (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009; Escamilla *et al.*, 2015; MINSAL, 2015).

El hinojo también se usa en el ámbito culinario. Se puede utilizar toda la planta: las hojas se añaden a las ensaladas, pescados, salsas, guisados, etc. Mientras que la raíz y el tallo se consumen crudos; las semillas se utilizan como condimento en la fabricación de licores, en repostería, etc. (Alonso-Esteban, 2015; MINSAL, 2015).

En la industria de perfumería y cosméticos se emplea como componente de cremas dentales, jabones y lociones para después de afeitarse. El aceite esencial de las semillas es potencialmente tóxico, no se aconseja administrar en dosis excesivas. Además es un estimulante uterino, por lo que se deben evitar las dosis elevadas durante el embarazo (Escamilla *et al.*, 2015).

2.3 Nitratos en hortalizas

Los nitratos (NO_3^-) son compuestos iónicos que forman parte del ciclo del nitrógeno, se encuentran ampliamente distribuidos en los alimentos, principalmente en los vegetales y el agua potable. Algunas especies vegetales tienen gran capacidad de acumulación de nitrato (productos de hoja verde principalmente), por lo que puede ser frecuente encontrar cantidades elevadas en este tipo de alimentos (Almudena y Lizaso, 2001; Rojas, 2018).

El 80% de la ingesta de nitratos tiene como origen el consumo de hortalizas frescas, congeladas y enlatadas. Quienes presentan mayor cantidad de nitratos son la acelga (*Beta vulgaris* L.), la espinaca (*Spinacia oleracea* L.) y la lechuga (*Lactuca sativa* L.), con valores promedio de 4500, 3000 y 2500 mg/kg^{-1} de NO_3^- respectivamente (Beretta-Blanco, 2011; Rojas, 2018). Las plantas absorben más nitratos de los que necesitan y al no poder eliminar el excedente lo acumulan en sus órganos de tránsito, raíces y hojas, por esta razón las hortalizas tienen un mayor contenido de nitratos (elika, 2014).

El consumo de vegetales con altas concentraciones de nitratos es potencialmente peligroso para los seres humanos, ya que al llegar al tracto digestivo por acción bacteriana o fúngica se reducen a nitrito (NO_2^-), el cual tiene efectos mutagénicos, teratogénicos y cancerígenos (Almudena y Lizaso, 2001; Rojas, 2018).

Si bien los nitratos por sí solos son atóxicos para la salud humana y hasta poseen un efecto protector y antimicrobiano en el estómago y el intestino, reduciendo también el riesgo de úlceras y otros problemas gástricos (elika, 2014), su toxicidad viene determinada por su conversión a nitrito, que puede producir metahemoglobinemia por oxidación del Fe^{+2} de la hemoglobina.

La metahemoglobina no es capaz de transportar el oxígeno a los tejidos, pudiendo dar lugar a efectos tóxicos graves, e incluso la muerte, cuando la cantidad de metahemoglobina es superior al 70% de la hemoglobina total. Este es un efecto que se produce generalmente en niños menores de un año, debido a que la acidez en su estómago es menor (y se favorece el crecimiento de microorganismos capaces de reducir el nitrato a nitrito), a la presencia de hemoglobina fetal (más fácilmente oxidable por el nitrito) y a la existencia de un déficit del sistema enzimático capaz de reducir la metahemoglobina (NADH-metahemoglobin reductasa), que por el contrario, resulta ser muy eficaz en adultos. Sin embargo, el riesgo más importante para la salud derivado de la exposición a estos compuestos se debe a que el nitrito puede reaccionar con aminas o amidas para formar N-nitrosocompuestos, muchos de los cuales son altamente cancerígenos (Giletto *et al.*, 2000; Almudena y Lizaso, 2001; Pérez-Vázquez y Landeros-Sánchez, 2009; Rojas, 2018).

En México no existe una ley que regule el contenido máximo de nitratos en hortalizas, sin embargo, este parámetro se mide con los datos establecidos por la Legislación de la Unión Europea, en donde se señala que para la lechuga (*Lactuca sativa* L.) los niveles de nitratos varían dependiendo del período de cosecha, permitiéndose concentraciones más elevadas en los meses de invierno que en los de verano, como se puede observar en el cuadro 1. Los niveles máximos de NO_3^- en las hortalizas se establecieron por primera vez en la UE en 1997 por la Comisión en el Reglamento (CE) N° 194/1997. Desde entonces la reglamentación ha sido modificada varias veces. La última fue en el año 2011 por el Reglamento (CE) N° 1258/2011.

Cuadro 1. Niveles máximos de NO_3^- en lechuga establecidos por el Reglamento (CE) N° 1258/2011

PRODUCTO	CONTENIDO MÁXIMO ($\text{mg NO}_3^-/\text{kg}$)	
Lechuga fresca (<i>Lactuca sativa</i> L.) (Lechugas de invernadero y cultivadas al aire libre) excepto las lechugas del párrafo siguiente	Recogidas entre el 1 de octubre y el 31 de marzo	
	Lechugas cultivadas en invernadero	5000
	Lechugas cultivadas al aire libre	4000
	Recogidas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre	
	Lechugas cultivadas en invernadero	4000
	Lechugas cultivadas al aire libre	3000
Lechuga del tipo Iceberg	Lechugas cultivadas en invernadero	2500
	Lechugas cultivadas al aire libre	2000

2.4 Mecanismo de absorción de nitratos

La absorción del NO_3^- en las plantas está mediado al menos por tres sistemas de transporte que coexisten en las membranas plasmáticas de las células radicales. Estos sistemas pueden ser divididos en dos clases, referidos como sistemas de transporte de alta (STAA) y baja afinidad (STBA) por el NO_3^- (baja y alta K_m , respectivamente). Por otra parte, los STAA pueden ser constitutivos (STAAC) o inducibles (STAAI).

Los STBA están involucrados en la absorción de altas concentraciones de NO_3^- ($> 0.2\text{mM}$), mientras que los STAAI y los STAAC están saturados con una baja concentración de NO_3^- externa (aproximadamente $100\ \mu\text{M}$) (Pereyra-Cardozo, 2001).

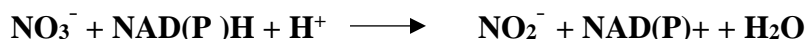
El movimiento pasivo del nitrato a través de las membranas plasmáticas se da probablemente por canales iónicos; un canal permeable al nitrato el cual permite el flujo de aniones hacia la célula ha sido identificado en la membrana plasmática del protoplasto de trigo. Tal canal podría tener un rol en el sistema de absorción constitutivo. Aparentemente aunque la absorción pasiva sólo produzca concentraciones micromolares de nitrato en el citoplasma, éstas serían suficientes para inducir el transporte y asimilación del nitrato, sin la necesidad de un receptor de nitrato fuera de la célula (Miller y Smith, 1996). Por otra parte, el transporte activo es requerido en las membranas plasmáticas para mantener la concentración intracelular de nitrato. La fuerza protón motriz a través de la membrana plasmática puede proveer la energía necesaria para el transporte de nitrato. Se considera que el transporte de nitrato es un simporte con H^+ (Pereyra-Cardozo, 2001).

Ha sido sugerido que el ciclo de los aminoácidos entre los tallos y las raíces sirve para proveer la información necesaria respecto del nivel de nitrógeno (N) en la planta, que le permite a las raíces regular la absorción de N. Existen evidencias que el ingreso de NO_3^- es inhibido por el NH_4^+ celular y /o los aminoácidos. Siendo regulada la absorción de nitrógeno por el ciclo de los aminoácidos entre la raíz, tallo y raíz (Cooper y Clarkson, 1989).

2.5 Asimilación del nitrato

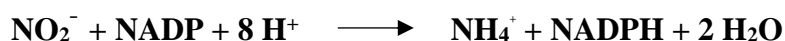
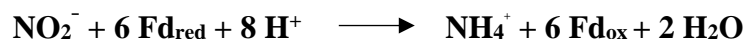
De manera general, las plantas absorben el N como nitrato (NO_3^-) y en forma limitada como amoníaco (NH_3) o como amonio (NH_4^+). El nitrato es la principal fuente de nitrógeno accesible para las plantas cultivadas e ingresa a ellas a través de las células epidérmicas radiculares (Beretta-Blanco, 2011).

La primera etapa de este proceso es la reducción de nitrato a nitrito en el citoplasma, la enzima nitrato reductasa (NR) es una enzima de localización citoplasmática y el poder reductor para la reacción es suministrado por el NAD(P)H (Nicotiamida-Adenina Dinucleotido fosfato), como se muestra en la siguiente reacción:



En la que se observa un gran cambio de energía libre bajo condiciones estándar, siendo una reacción irreversible. La NR – NADPH está presente en las plantas superiores y en algas, las formas NAD(P)H se encuentran en algas, hongos y plantas superiores y la forma específica de NADPH se encuentra en hongos. En las hojas la NR es NADH dependiente, mientras que en la raíz existen dos formas NADH y NADPH dependientes. La nitrato reductasa cataliza el primer paso de la asimilación del nitrato en todos estos organismos, el cual parece ser el proceso que limita la adquisición de N en la mayoría de los casos, siendo esta enzima regulada por el NO_3^- y la luz, entre otros factores (Pereyra-Cardozo, 2001).

La cantidad de NO_3^- absorbido depende de un mecanismo de feedback entre el sistema de transporte de ácidos orgánicos y/o la concentración interna de NO_3^- . Aunque toda la planta necesita constantemente de N, la magnitud de esta reducción depende de la cantidad de NR y de los equivalentes de reducción aportados por el NADH generados por el catabolismo de los glúcidos y el NADPH fotosintético (Beretta-Blanco, 2011). Dado que el nitrito (NO_2^-) formado es altamente reactivo, siendo un ión potencialmente tóxico, las células vegetales lo transportan inmediatamente después de ser generado por la reducción del nitrato desde el citoplasma a los cloroplastos en las hojas, y a los plástidos en las raíces. En estos organelos la enzima nitrito reductasa (NiR) reduce el nitrito a amonio, obtiene el poder reductor del NADPH fotosintético, y siendo la reacción que cataliza:



Donde Fd indica ferredoxina reducida (red) y oxidada (ox). La ferredoxina reducida deriva del transporte de electrones de la fotosíntesis en los cloroplastos y el NADPH generado por la vía oxidativa de las pentosas fosfatos en los tejidos no fotosintéticos. La NiR es una proteína simple de 63 Kda (kilodalton) y contiene dos grupos prostéticos, un complejo de Fe-S (Fe_4S_4) y un grupo hemo especializado. Experimentos cinéticos sugieren que el par Fe_4S_4 -hemo de la enzima se une al nitrito y lo reducen directamente a amonio (Pereyra-Cardozo, 2001).

Una vez que el nitrato ha sido absorbido por la planta, puede ser almacenado como tal por los tejidos radiculares; reducido y sintetizado en aminoácidos, o depositado en el xilema para ser transportado por los tallos. En los tallos y pecíolos pueden existir tanto aminoácidos como NO_3^- , éste puede ser almacenado temporalmente o moverse hacia las hojas para ser almacenado allí o reducirse. Finalmente, los aminoácidos provenientes de cualquiera de estos lugares de almacenamiento pueden ser depositados en el floema para luego ser traslocados a partes reproductivas o de activo crecimiento, incluso parte de estos aminoácidos puede volver a las raíces (Perdomo y Barbazán, 1998).

2.6 Acumulación de nitratos

La acumulación de nitratos se debe a una reducción de la actividad de la NR sin una correspondiente disminución de la absorción de este ión. Las plantas pueden acumular nitratos cuando su absorción excede la reducción, la cual puede ser limitada por varios factores, uno de ellos es la intensidad de la luz. Es posible que las plantas acumulen NO_3^- para aumentar su potencial osmótico y establecer así una diferencia de potencial hídrico respecto al suelo. Al disminuir la actividad fotosintética por la disminución en la cantidad o intensidad de la luz, disminuyen los ácidos orgánicos (mayormente malato) y azúcares (mayormente glucosa) disponibles para la regulación osmótica, de manera que la función de estas moléculas orgánicas como osmolitos es reemplazada por iones, principalmente

NO_3^- . La acumulación de nitratos como osmorregulador implica un costo energético menor para la planta que la síntesis de carbohidratos (Beretta-Blanco, 2011).

Esta teoría se apoya en la relación inversa observada en distintas especies entre la concentración de NO_3^- y compuestos orgánicos solubles (Muro *et al.*, 1998). Una vez absorbido y asimilado, aproximadamente el 10% del NO_3^- permanece en el citosol y el 90% se almacena en la vacuola. El nitrato acumulado en la vacuola difícilmente es metabolizado y su función está relacionada básicamente con el mantenimiento del potencial osmótico celular (Beretta-Blanco, 2011). Otra explicación a la acumulación de nitratos en las hojas de hortalizas define la existencia en algunas plantas de un consumo excesivo. Las plantas absorben demasiados nutrientes para las necesidades inmediatas de crecimiento, éstos serán utilizados cuando el aporte del suelo decrezca (Muro *et al.*, 1998).

Por otro lado, el uso de fertilizantes químicos en la producción de cultivos ocasiona que exista una absorción rápida del nitrógeno por parte de las raíces, para ser posteriormente traslocado al resto de la planta, contrario a lo que ocurre con un abono orgánico, ya que la disponibilidad del nitrógeno es más constante durante el desarrollo del cultivo debido a la mineralización gradual a la que es sometido (Tirador, 2011). A pesar de que los cultivos necesitan varios elementos para crecer y tener óptimas producciones, su fertilización se basa principalmente en tres de estos elementos: nitrógeno, fósforo y potasio (IDAE, 2007), siendo el nitrógeno, después de la temperatura y el agua, el tercer factor limitante de la producción agrícola (Martínez *et al.*, 2011).

Debido a esto es uno de los fertilizantes químicos más utilizados en la producción de cultivos. Como ya se mencionó, el uso de estos productos es perjudicial no solo para el ambiente, sino también para la salud del consumidor; por esta razón es importante comenzar a optar por abonos orgánicos que garantizan un buen rendimiento en la producción de cultivos, enriquecen el suelo y protegen al medio ambiente, así como a la flora, la fauna y la biodiversidad en general.

El nitrógeno es un elemento indispensable para el adecuado desarrollo de las plantas, sin embargo, su disponibilidad después de la aplicación de un abono orgánico no puede ser estimada a partir del contenido de N en dicho abono, por lo que determinar la relación C:N de un abono orgánico es de gran ayuda para saber si podemos esperar mineralización o inmovilización del N contenido en el abono orgánico (Cerrato *et al.*, 2007).

El potencial de mineralización de N, es la cantidad máxima de N disponible que podrá ser liberada de un abono después de su degradación por los microorganismos del suelo, se establece a partir de la mineralización acumulada de N, la cual se define como la cantidad de N disponible, liberada después de un período de tiempo específico (Brady y Weil, 1999). Es decir, la mineralización es un proceso por el cual los microorganismos del suelo desdoblan los compuestos orgánicos del nitrógeno, haciéndolos más simples.

Por otro lado, la inmovilización tiene lugar durante el proceso de descomposición microbiana de residuos de plantas y animales, en especial aquellos que son pobres en N. El nitrógeno inorgánico liberado y aquel que está presente en el suelo, es transformado nuevamente en formas orgánicas al ser asimilado por microorganismos y plantas, llegando a formar parte de sus tejidos (Martín-Olmedo, 1993).

2.7 Prácticas agroecológicas como alternativas para reducir la acumulación de nitratos en hojas de hortaliza de follaje

En los sistemas agrícolas convencionales los problemas generados por el uso excesivo de plaguicidas y fertilizantes y el cambio climático, entre otros, han obligado a la búsqueda de nuevas alternativas para la producción hortícola, que eviten el deterioro de los recursos naturales, favorezcan la fertilidad del suelo y le ayuden a conservar o aumentar su contenido de materia orgánica a través de distintos sistemas de incorporación (cosecha, poda, estiércol, etc.); potenciar la biodiversidad espacial y temporal con prácticas como la rotación y asociación de cultivos (policultivos); eliminar el uso e insumos químicos que

dañan el medio ambiente y afectan la salud humana; y por último, proveer un balance entre la producción de cultivos y la producción animal (SAG,2013). Debido a esto, podemos resaltar las siguientes prácticas:

2.7.1 Rotación de cultivos

Se refiere a la siembra sucesiva de diferentes cultivos en una misma parcela, siguiendo un orden definido. Tiene como objetivo desarrollar sistemas de producción diversificados que aseguren la sostenibilidad del suelo alternando cultivos cada año, considerando principalmente las necesidades de los productores. Para que se alcance un uso adecuado del suelo, la rotación de cultivos debe permitir un buen control de plagas, malezas y enfermedades; las raíces deben tener tal desarrollo que puedan explorar diferentes profundidades del suelo, y sobre todo, mantener la fertilidad y las características físicas y químicas del suelo. (Morales-Flores y Martínez-Menez, 2015). Los criterios bajo los que se rige la rotación de cultivos incluye: la sucesión de plantas con diferente crecimiento vegetativo; evitar cultivar dos plantas de diferente tipo vegetativo, pero que pertenezcan a la misma familia botánica, y por último, introducir regularmente una leguminosa para que el suelo se enriquezca con nitrógeno (N).

2.7.2 Asociación de cultivos o policultivos

Es la siembra conjunta de dos o más especies que tienen demandas físicas complementarias (Monsalve, 1988; Sauca-Ibiricu y Urabayen-Aróstegui, 2005). Gracias a esta complementariedad, los recursos (suelo, espacio y agua) se aprovechan de una manera más eficiente, a diferencia de lo que ocurre con los monocultivos. La asociación de cultivos o policultivo permite un control de malezas; éstas le quitan nutrientes al suelo y dependiendo la altura que alcancen pueden sombrearlas, limitando así su crecimiento (SAG, 2013).

El cultivo de algunas plantas durante la estación anterior puede reducir al mínimo el problema que representan las malas hierbas, por ejemplo, la col y la colza (Orozco *et al.*, 2014). Al existir diferentes familias de plantas dentro de una misma área, crea un ambiente de biodiversidad, donde muchos enemigos naturales son atraídos por la variedad de flores que se genera por los mismos cultivos, logrando mantener un mejor control natural de plagas. Cuando las plagas se controlan biológicamente en un alto porcentaje, el uso de pesticidas disminuye considerablemente; por tanto, los policultivos tienen esa ventaja económica que es de suma importancia para los productores, sin embargo, es necesario investigar más para definir la edad y la cantidad de plantas necesarias en la parcela para crear este efecto, así como tomar en cuenta las condiciones del terreno y los requerimientos de las plantas que se quieren asociar (Sauca-Ibiricu y Urabayen-Aróstegui, 2005; Enciso-Espíndola y Espinoza Arteaga, 2010; Orozco *et al.*, 2014).

Asociado a esto, se puede definir el Uso Equivalente de Terreno (UET) como la cantidad de tierra necesaria para producir en monocultivo tanto como puede producirse en una hectárea de policultivos (Vandermeer, 1989). De los factores que más influyen para obtener bajos rendimientos se encuentra la falta de programas de fertilización y mejor aprovechamiento de tierra, por lo que es importante hacer un estudio para producir más por unidad de área optimizando la fertilización en los cultivos y mejorar rendimientos (Enciso-Espíndola y Espinoza Arteaga, 2010). Proveer una medida de rendimientos alcanzados al cultivar dos o más plantaciones de una forma intercalada, comparando estos resultados con los mismos cultivos, pero sembrados individualmente en un área determinada en forma de monocultivo. El uso equivalente de tierra, como también se le conoce, es la sumatoria de dividir para cada cultivo el rendimiento del policultivo sobre el rendimiento del monocultivo de mayor valor económico, el resultado de esta ecuación no son valores reales de rendimiento, sino que son valores proporcionales que determina el nivel de interferencia de cultivos intercalados en un tipo de sistema de producción de cultivos (Gliessman, 2002).

2.7.3 Abonos orgánicos

Son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal, de donde las plantas pueden obtener grandes cantidades de nutrimentos, y a su vez con la descomposición de estos abonos, el suelo se ve enriquecido con carbono orgánico, mejorando así sus características físicas, químicas y biológicas (Trinidad-Santos, 2015). El uso de abonos orgánicos significa un menor costo de producción y aplicación, por lo que resulta más accesible a los productores, en especial para los países en donde la producción de alimentos se lleva a cabo de manera no tecnificada, como es el caso de México (Orozco *et al.*, 2014). Los fertilizantes naturales comúnmente utilizados para la producción de alimentos son:

- **Composta:** Se obtiene de la descomposición aeróbica de la mezcla de residuos vegetales, animales y suelo. Con la adecuada humedad y temperatura, es descompuesta por diferentes microorganismos que realizan una transformación de los restos orgánicos y la convierten en un material homogéneo y asimilable para las plantas. Tiene un efecto progresivo y acumulativo; es decir, que poco a poco va mejorando la fertilidad y calidad del suelo, consiguiendo una mayor retención de humedad y es posible obtener plantas más sanas y un aumento en la producción (SAG, 2013 y Alemán *et al.*, 2018).
- **Lombricomposta:** También se le conoce como “humus de lombriz” o “vermicomposta”, y es producida por la acción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) sobre restos orgánicos. Esta lombriz se emplea debido a su rápida reproducción y su gran capacidad para transformar materia orgánica en humus, además son fuertes, resistentes y fáciles de manejar (SAG, 2013 y Luna-Hernández, 2014). La lombricomposta contiene más nutrientes disponibles para la planta que la composta, además se utiliza en menor cantidad, por lo que resulta más económica su aplicación y distribución en el terreno (SAG, 2013).

Este abono no tiene restricciones de uso y puede ser administrado en grandes dosis, siempre con resultados positivos en el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas; es un material concentrado y 100% orgánico, que puede ser mezclado con otros materiales inorgánicos, originando un suelo completo y muy fértil (Luna-Hernández, 2014).

- **Bocashi:** Es un abono fermentado que se obtiene a raíz de un proceso de semi-descomposición aeróbica de desechos vegetales y animales, por medio de poblaciones de microorganismos quimioorganotróficos que existen en los propios residuos, con condiciones controladas y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición, capaz de fertilizar plantas y al mismo tiempo de nutrir el suelo (FAO-PESA, 2011). La palabra bocashi proviene del idioma japonés y significa cocer al vapor los materiales del abono, aprovechando el calor que se genera con la fermentación aeróbica de los mismos (SAG, 2013; Orozco *et al.*, 2014).

El proceso de elaboración del bocashi se puede dividir en dos etapas: **1)** Durante la fermentación se puede alcanzar una temperatura de 70°C a 75°C si no se controla adecuadamente, debido al incremento en la actividad microbiana. Posteriormente la temperatura comienza a caer, dado el agotamiento o disminución de la fuente energética que retroalimentaba el proceso, es aquí cuando se da una **estabilización**, y sobresalen los materiales que presentan mayor dificultad para su degradación a corto plazo. **2)** El abono pasa a una etapa de **maduración**, en la cual la degradación de los materiales orgánicos que aún permanecen es más lenta, para posteriormente llegar a su estado ideal para su inmediata utilización (FAO-PESA, 2011).

Existen factores que afectan el proceso de elaboración de abonos orgánicos fermentados, entre los que destacan:

- a) **Temperatura:** Depende del incremento de la actividad microbiana que comienza después de la mezcla de todos los componentes. Un estimado de 14

horas después de haber preparado el abono, la temperatura debe superar fácilmente los 50°C, lo que indica que las condiciones son óptimas para continuar con las demás etapas del proceso. Si esto no ocurre puede deberse a falta de oxigenación o exceso/escasez de humedad.

- b) **pH:** El pH debe oscilar entre 6 y 7.5, ya que los valores extremos inhiben la actividad microbiológica durante la degradación de los materiales. Hay que tomar en cuenta que al inicio de la fermentación el pH es muy bajo, pero gradualmente se va autocorrigiendo con la evolución de la fermentación del abono.
- c) **Humedad:** La humedad óptima oscila entre el 50% y el 60% en peso, es decir, los materiales están vinculados a una fase de oxidación. Si la humedad es inferior al 35% se da una descomposición aeróbica muy lenta de los materiales orgánicos; por otro lado, si supera el 60% hay una baja cantidad de poros libres de agua y esto dificulta la oxigenación de la fermentación, resultando en un proceso anaeróbico putrefacto, vinculado a una fase de reducción de materia orgánica.
- d) **Aireación:** Es necesaria para que no existan limitaciones en el proceso aeróbico de fermentación del abono. Debe existir como mínimo de un 5% a un 10% de concentración de oxígeno en los macro poros de la masa.
- e) **Tamaño de partícula:** Una reducción en el tamaño de las partículas de los componentes del abono puede presentar la ventaja de aumentar la superficie para su descomposición microbiológica. Si existe un exceso de partículas muy pequeñas puede haber una compactación que favorece un proceso anaeróbico, que no es ideal para obtener un buen abono orgánico fermentado.
- f) **Relación C-N:** La relación ideal para un buen abono de rápida fermentación se estima que es de 1 a 25-35. Las relaciones menores a esto pueden resultar en

pérdidas considerables de nitrógeno, y las mayores pueden ocasionar una fermentación y descomposición más lenta. Es un factor importante en el proceso de mineralización de un abono orgánico, porque el contenido de C y N es esencial para la vida y la reproducción de los microorganismos, ya que necesitan C como fuente de energía y, junto con el N, para la síntesis de proteínas y estructuras celulares (Cerrato *et al.*, 2007).

Diversos autores (Cabrera, 2011; FAO-PESA, 2011; SAG, 2013; Orozco *et al.*, 2014) señalan que la elaboración de este tipo de abono presenta varias ventajas, tanto económicas como ambientales, entre las que destacan las siguientes:

1. Al controlarse cada etapa del proceso de la fermentación, no se forman gases tóxicos ni surgen malos olores, ya que se evita cualquier inicio de putrefacción.
2. Se facilita el manejo del volumen de abono, así como su almacenamiento, transporte y la disposición de los materiales para su elaboración, ya que de acuerdo a las condiciones y necesidades de cada productor puede variar el volumen de elaboración.
3. Se pueden elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde se realicen actividades agropecuarias.
4. Por medio de la inoculación biológica de bacterias, actinomicetos, hongos y levaduras, es posible autorregular la presencia de agentes patógenos en el suelo; además, la presencia de estos microorganismos y los ya existentes transforman gradualmente los residuos en nutrientes de excelente calidad disponible para el suelo, las plantas y la propia retroalimentación de la actividad biológica.
5. El producto final se obtiene en un corto período y a bajos costos.
6. El crecimiento de las plantas es estimulado por una serie de fito hormonas y fito reguladores naturales que se activan a través de los abonos fermentados.
7. Activa una serie de rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas y de bio-protección.
8. Se obtiene un mayor rendimiento en el número de plantas/ha.
9. Recupera el suelo y mantiene por más tiempo la humedad.

10. Se eliminan factores de riesgo para la salud de los trabajadores y consumidores.
11. No exige inversiones económicas muy elevadas en obras de infraestructura rural.
12. Los materiales con los que se elabora son conocidos y de fácil acceso.
13. Se tienen mayores opciones económicas al bajar costos de producción.

El bocashi es considerado una técnica rápida y eficaz para transformar en abono orgánico todo tipo de desechos orgánicos. Tiene como base la activación, la adición de levaduras, los microorganismos preexistentes en el suelo, en el estiércol y otros componentes agregados. Eleva mucho su temperatura los primeros tres a cuatro días y el tiempo de elaboración total oscila entre los 15 y 28 días (Orozco *et al.*, 2014).

Hay estudios que señalan al bocashi como uno de los abonos orgánicos más eficientes en cuanto al desarrollo de cultivos de lechuga, por ejemplo (Girón *et al.*, 2012), reportan que el cultivo de lechuga fertilizada con bocashi y composta arrojó mejores resultados de peso, altura, cobertura y rendimiento que las lechugas abonadas solo con composta. Por otro lado Agredo (2014) en una comparación de producción de lechuga usando bocashi como abono y también fertilizante químico N-P-K, concluye que el tratamiento más eficaz para el cultivo de esta hortaliza fue el bocashi, ya que las plantas presentaron un mayor tamaño y peso en comparación con las plantas fertilizadas con N-P-K.

2.8 Alimentos ecológicos

Los alimentos ecológicos son aquellos productos agrícolas que se producen bajo un conjunto de procedimientos denominados ecológicos, que protegen el medio ambiente por medio de técnicas no contaminantes y que disminuyen el empleo de sustancias inorgánicas (García-Quijano y Santiago-Galdeano, 2011). Los alimentos ecológicos no contienen sustancias dañinas para la salud, como los nitratos y los residuos de pesticidas, ya que no se usan estos insumos en el proceso de producción.

Además tienen un mayor contenido de materia seca, son más ricos en vitaminas (vitamina C, en particular) y están más equilibrados en oligoelementos y minerales (hierro, magnesio, calcio, etc.) (Raigón-Jiménez, 2009).

De acuerdo a estudios realizados por Raigón-Jiménez (2007), por cada 6 kg de hortalizas producidas en agricultura convencional se consigue aproximadamente 1 kg de agua más que los productos en frescos obtenidos ecológicamente. Lo que implica también que la relación en materia seca es significativamente mayor en las hortalizas ecológicas y por ello, la concentración y proporción de nutrientes es mayor. Por otro lado, las sustancias antioxidantes están en concentraciones superiores en frutas ecológicas, por ejemplo en fresas (26%), zarzamora (40%), manzana (15%) y pimiento (17%). A la vitamina C (ácido ascórbico), se le han reconocido muchas propiedades antioxidantes. Se encuentra en casi todas las frutas y hortalizas, estando en mayor concentración en cítricos, pimientos y bayas. Para el caso de los frutos cítricos, el contenido en ácido ascórbico del jugo obtenido a partir de los frutos ecológicos es superior al procedente de frutos convencionales. Los resultados indican que en promedio el jugo de los frutos cítricos ecológicos presenta un 28% más de vitamina C que los convencionales.

Los alimentos ecológicos tienen más sabor y mejor aroma que los alimentos convencionales, debido que utilizan variedades locales tradicionales más adaptadas al terreno y que se cosechan cuando han alcanzado su madurez, lo que aumenta el contenido en sustancias aromáticas, azúcares y nutrientes en general. También se conservan mejor debido a su alto contenido en materia seca (Raigón-Jiménez, 2009).

Las prácticas agroecológicas generan una producción de alimentos considerablemente más sanos que los producidos de manera convencional; por ejemplo, se ha demostrado que la asociación de hinojo con lechuga reduce significativamente los iones nitrato en las hojas de la lechuga en relación al monocultivo de lechuga (Raigón-Jiménez, 2007). Por otro lado, se cita que el hinojo puede actuar como una planta trampa para los nitratos presentes en el suelo (Raigón-Jiménez, 2007), sin embargo, esta relación no ha sido estudiado para todas las variedades de lechuga.

2.8.1 Calidad de la planta

La producción de plantas en vivero es el proceso por el cual se le dan a las semillas los cuidados y tratamientos necesarios para su buena germinación y para que la planta crezca adecuadamente (Muñoz *et al.*, 2015). Los viveros forestales tratan de producir plantas de mayor calidad de la forma más eficiente posible, desde un punto de vista económico. Esto implica la identificación de la planta de calidad, así como la mejor manera de evaluarla, sin embargo es difícil determinar lo que se tiene que medir, teniendo en cuenta los numerosos atributos morfológicos y fisiológicos que afectan al comportamiento en campo (Birchler *et al.*, 1998). Las prácticas de manejo en vivero se reflejan en la calidad de la planta producida, la cual debe tener una serie de atributos morfológicos y fisiológicos que le dan la capacidad de adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación (Birchler *et al.*, 1998; Prieto y Alarcón, 1998; Rodríguez, 2008).

De acuerdo a Birchler *et al.*, (1998), los atributos morfológicos se refieren a la manifestación de la respuesta fisiológica de la misma a las condiciones ambientales y a las prácticas culturales del vivero, y generalmente son fáciles de cuantificar. Birchler *et al.*, (1998) y Quiroz *et al.*, (2009) señalan estos parámetros:

- a) **Altura:** de fácil medición que se relaciona con su capacidad fotosintética y su superficie de transpiración. Las plantas más altas pueden lidiar mejor con la vegetación competidora, indica una buena salud fisiológica y un sistema radicular adecuado. Esta variable se expresa generalmente en centímetros (cm).

- b) **Cobertura:** también de fácil medición, es un indicador de la capacidad de la planta para el transporte de agua hacia la parte aérea, de la resistencia mecánica y de la capacidad relativa de tolerar altas temperaturas en la superficie del suelo. Se expresa generalmente en milímetros (mm).

Dentro de los atributos morfológicos existen varios índices que muestran mejor el crecimiento de las plantas, para aplicar estos índices de crecimiento es necesario integrar las medidas antes mencionadas junto con los pesos secos y frescos del área foliar y el área radical de la planta. Diversos autores (Birchler *et al.*, 1998; Quiroz *et al.*, 2009; Di Benedetto y Tognetti, 2016; Villar *et al.*, 2008), señalan los siguientes índices para analizar la calidad de una planta así como su desarrollo:

- a) **Relación parte radical/parte aérea (R/V):** es el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente de la planta, y puede ser de gran importancia cuando la plantación tiene lugar en estaciones difíciles.

- b) **Coefficiente de esbeltez (CE):** es la relación entre la altura de la planta (en cm) y su diámetro (en mm), es un indicador de la densidad del cultivo.

- c) **Índice de Calidad de Dickson:** integra la relación entre la masa seca total de la planta (g) y la suma del Coeficiente de esbeltez (CE) y la relación parte seca aérea/parte seca radical. Expresa el equilibrio de la distribución de la masa y robustez, evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura pero con mayor vigor.

- d) **Tasa de Crecimiento Relativo (TCR):** es el concepto central del análisis de crecimiento, se define como el incremento de biomasa por unidad de biomasa y tiempo. Durante los primeros estadios de una planta, el crecimiento suele tener una dinámica exponencial y suele reflejar diferencias significativas entre especies y dentro de estas frente a variaciones en la oferta agroclimática o cultural del espacio productor

Por otro lado los atributos fisiológicos que también pueden medirse para conocer la calidad de la planta, pueden incluir los siguientes:

- a) **Clorofila:** su contenido en las hojas es un parámetro muy útil para evaluar el estado fisiológico de las plantas. El contenido de pigmentos fotosintéticos puede cambiar como respuesta a factores causantes de estrés, a la capacidad fotosintética o al estado de desarrollo de la planta. Este parámetro puede obtenerse con lectores especializados de clorofila (Cassierra *et al.*, 2012).

- b) **Grados Brix (°Bx):** determinan el cociente total de materia seca (generalmente azúcares) disuelta en un líquido, por ejemplo, una solución de 25 °Bx contiene 25 g de 100 g totales de solución. Se utilizan normalmente en la agricultura para saber el punto óptimo de dulzor de una fruta u hortaliza. Generalmente se cuantifican con un refractómetro (<https://agriculturers.com/que-son-los-grados-brix/>).

2.9 Antecedentes sobre trabajos relacionados con el tema

Título	Autor y año	Objetivo	Resultado
Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg.	Rincón (<i>et al.</i> , 2002)	Conocer la influencia de la fertilización nitrogenada y de la acumulación de nitratos en plantas de lechuga Iceberg en ciclos de cultivo de invierno.	La acumulación de NO ₃ ⁻ fue más elevada en hojas externas que hojas internas, aumentando durante la fase de roseta y disminuyendo durante la fase de acogollado.
Evaluación de la calidad de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca.	Sánchez (2010)	Evaluar si el contenido de nitratos y materia seca en la lechuga se encuentran dentro de los estándares establecidos, y si existen diferencias en el contenido de NO ₃ ⁻ y materia seca comparando épocas y horarios de corte.	Diferencias significativas en el porcentaje de materia seca entre horas de cosecha y fechas. El contenido de NO ₃ ⁻ se encuentra debajo de los límites establecidos por la Legislación de la Comisión Europea.
Influencia de la aplicación de bocashi y lombriabono en el rendimiento de calabacín (<i>Cucurbita pepo</i> L.), espinaca (<i>Spinacia oleracea</i> L.), lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) y remolacha (<i>Beta vulgaris</i> L.), bajo el método de cultivo biointensivo, San Ignacio, Chalatenango.	Girón (<i>et al.</i> , 2012)	Conocer el efecto complementario del bocashi y lombriabono en diversos cultivos, aplicando métodos de agricultura orgánica para desarrollar condiciones de suelos favorables y para contribuir a la seguridad alimentaria de los pequeños productores de la zona.	La combinación de composta y bocashi produjo un mayor rendimiento en la remolacha, lechuga, calabacín y espinaca, siendo también el que estableció una mejor relación costo-beneficio. Usando solo composta se produjeron los menores valores en rendimiento.
Contenido de nitratos y proteína en lechuga crespa y amaranto hortícola producidos con enmienda y urea.	Sánchez (<i>et al.</i> , 2012)	Evaluar el efecto de abono y urea en la acumulación de nitratos en cultivo de lechuga crespa y amaranto y verificar los niveles de nitratos de ambos cultivos en función de los requerimientos para consumo humano.	Los tratamientos con base en abono y urea ejercieron un efecto positivo en la acumulación de NO ₃ ⁻ en ambas hortalizas, sin embargo, aunque las dos especies se consideran acumuladoras de nitratos, los valores más bajos fueron los de la lechuga.

3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Se reduce el contenido de nitratos en hojas de lechuga orejona al cultivarla en un sustrato rico en abono orgánico bocashi y en asocio con hinojo?

4 HIPÓTESIS

De acuerdo a los resultados obtenidos por Raigón-Jiménez (2008), el hinojo es una planta que absorbe iones nitratos con mayor demanda que la lechuga, por tal motivo, el hinojo en un cultivo intercalar con lechuga orejona bajo un manejo ecológico y utilizando un abono orgánico, reduce la concentración de nitratos en las hojas de lechuga.

5 OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar el contenido de nitratos en hojas de lechuga orejona (*Lactuca sativa* L. var. Parris Island) en un cultivo intercalar con hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill).

5.2 Específicos

- 1) Comparar la concentración de nitratos en hojas de lechuga en cultivo intercalar con hinojo; así como en un monocultivo.
- 2) Medir los atributos morfológicos de las plantas de lechuga, en monocultivo y en cultivo intercalar.
- 3) Medir los atributos fisiológicos de las plantas de lechuga, en monocultivo y cultivo intercalar.
- 4) Determinar el rendimiento de la lechuga en monocultivo y cultivo intercalar.
- 5) Cuantificar los costos de producción para ambos tratamientos (cultivo intercalar y monocultivo).

6 MÉTODO

El presente trabajo se llevó a cabo en el Vivero Chimalxochipan de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, ubicado en la Ciudad de México. Presenta en su mayoría un clima templado subhúmedo, con una temperatura alta mayor a 25°C y una baja alrededor de 5°C. Presenta una precipitación anual de 1,200 mm (INEGI). Los cultivos se trabajaron en los meses de octubre a febrero.

Se utilizaron semillas de lechuga orejona (*Lactuca sativa* L. var. Parris Island) adquiridas en una casa comercial. El abono orgánico empleado fue el bocashi, el cual se elaboró en el Vivero Chimalxochipan, en un espacio ventilado y protegido de las lluvias y el sol, para evitar que estos factores alteraran su calidad. El bocashi se preparó de acuerdo a Orozco *et al.* (2014) (Anexo 2). Al sustrato integrado por tierra de monte y bocashi, se le realizó un análisis nutrimental (macro y microelementos) (Laboratorio Central de Edafología de la Universidad de Chapingo) (Anexo 3).

6.1 Diseño del experimento

Se utilizaron dos camas de cultivo (espacios cuadrados o rectangulares destinados para sembrar o cultivar) con un área de 6 x 0.90 m². Previo al cultivo las camas se deshieron y se removió el suelo. Con ayuda de una pala se hizo una excavación en el centro, para posteriormente adicionar 5 kg de bocashi/m² a 30 cm de profundidad, encima del abono se colocó una capa de suelo que permitió cubrir por completo el bocashi. Una cama se destinó al tratamiento de cultivo intercalar (policultivo) y la otra al testigo (monocultivo).

En ambas camas se trabajaron dos surcos verticales elevados, separados entre sí por 40 cm. Para las lechugas se utilizó el método de siembra directa; en cada surco se colocaron 20 semillas, separadas entre sí por 25 cm, para asegurar un desarrollo adecuado de las plantas (López *et al.*, 2014).

En ambos tratamientos (policultivo y monocultivo) se siguió el mismo procedimiento, sin embargo, en el policultivo se trasplantaron 12 plantas de hinojo, con una separación de 50 cm entre ellas, teniendo especial cuidado con la incidencia de luz solar, de tal manera que el follaje del hinojo no ocasionara sombra a las lechugas.

Ambos cultivos se regaron cada tercer día con 11 l agua de lluvia. Se aplicaron 100 g de bocashi por planta una vez al mes, después del primer mes de vida de las lechugas, para evitar deficiencias nutrimentales. Las evidencias fotográficas pueden observarse en el anexo 4.

6.2 Medición de variables de crecimiento

- **Altura:** Se midió a los 20, 40, 60, 80 y 105 días de edad de la planta. Esto se hizo con ayuda de un flexómetro, considerando desde la base hasta la parte más alta de la planta. Se midieron las lechugas de ambos tratamientos.
- **Cobertura:** Se midió a los 20, 40, 60, 80 y 105 días de edad de la planta. Tomándose en cuenta dos diámetros cruzados. La medida final se obtuvo con la fórmula del área basal del cilindro (figura geométrica que se asemeja al crecimiento del vástago). Se midieron las lechugas de ambos tratamientos.

$$A_B = \pi \cdot r^2$$

- **Número de hojas:** Se contaron a los 105 días después de la siembra (dds), es decir, al momento de la cosecha. El conteo de las hojas se hizo por lechuga en ambos tratamientos y anexando a la suma final las hojas que se tomaron para la medición de nitratos y grados brix (°Bx).

6.3 Medición de la biomasa

Al momento de la cosecha (105 dds), se pesó con una báscula digital y por separado, la masa fresca y seca de la raíz y el vástago de las plantas de lechuga. Finalmente los datos se integraron para obtener un solo peso total fresco y un solo peso total seco. Se siguió el mismo procedimiento para ambos tratamientos.

$$B = PFV + PFR$$

$$B = PSV + PSR$$

En donde B corresponde a la biomasa; PFV al peso fresco del vástago; PFR al peso fresco de la raíz; PSV al peso seco del vástago y finalmente PSR al peso seco de la raíz.

6.4 Medición de los atributos de calidad morfológica

Estas variables se obtuvieron a los 105 después de la siembra (dds), que corresponde al momento de la cosecha.

- **Tasa de Crecimiento Relativo (TCR).** Se calculó la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) por tratamiento (policultivo y monocultivo) de acuerdo a Hunt (1978):

$$TCR = \frac{\ln A_2 - \ln A_1}{T_2 - T_1}$$

En donde ln es el logaritmo natural; A_2 es la altura final al momento de la cosecha y A_1 es la altura inicial, cuando la planta presenta 5 hojas; T_2 es el tiempo final, es decir, al momento de la cosecha y T_1 el tiempo inicial, cuando las semillas germinan.

- **Relación Raíz-Vástago (R/V).** Se calculó a partir de las longitudes (cm) tanto de la parte transpirante (vástago) como de la parte absorbente (raíz) (Birchler *et al.*, 1998).

$$R/V = \frac{\text{Longitud raíz (cm)}}{\text{Longitud vástago (cm)}}$$

- **Cociente de Esbeltez (CE).** Se calculó con la altura de la planta (cm) y su diámetro (mm), siendo un indicador de la densidad de cultivo (Birchler *et al.*, 1998).

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

- **Índice de Calidad de Dickson (ICD).** Este índice integra a los dos anteriores y se calcula mediante la relación entre el peso seco total de la planta (g) y la suma de la esbeltez y la relación parte aérea/parte radical (Birchler *et al.*, 1998).

$$ICD = \frac{\text{Peso seco total(g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso seco aéreo (g)}}{\text{Peso seco raíz (g)}}}$$

6.5 Medición de los atributos de la calidad fisiológica

- **Clorofila:** Se tomó la lectura en hojas internas y externas de las plantas de lechuga tanto del monocultivo como del policultivo, a los 56, 82 y 105 días después de la siembra (dds). Se utilizó un clorofilómetro marca Fieldscout CM 1000.

- **Nitratos:** Por cada tratamiento (mono y policultivo), se tomaron hojas de todas las lechugas, haciendo una mezcla, separando las hojas externas y las hojas internas. Utilizando únicamente la nervadura central de cada hoja y con ayuda de un exprimidor para ajos se extrajo la savia. Inmediatamente después se colocaron unas gotas de la muestra en un medidor de nitratos marca Horiba y se registró la medida. Esta lectura se tomó por separado para hojas internas y hojas externas, haciendo un enjuague del sensor del medidor con agua destilada entre cada lectura. Los nitratos se midieron a los 82 y 105 dds.
- **Grados Brix (°Bx):** Por cada tratamiento (mono y policultivo) se cortaron hojas de todas las plantas de lechuga, haciendo una mezcla separada de hojas externas y hojas internas. Se utilizó únicamente la nervadura central de cada hoja y con ayuda de un exprimidor para ajos se extrajo la savia. Para obtener el contenido de grados brix (°Bx) se colocó una gota de muestra en un refractómetro de mano marca Hanna, la medición se tomó por separado para hojas externas e internas, haciendo un enjuague del refractómetro con agua destilada entre cada lectura. Los °Bx se midieron a los 82 y 105 dds.

6.6 Uso equivalente del terreno (UET)

El UET se calculó con base a la siguiente fórmula:

$$UET = \frac{Ax}{Ux}$$

Dónde: Ax corresponde al rendimiento del policultivo y Ux al rendimiento del monocultivo.

6.7 Costos de producción

Se calcularon con base al costo de cada insumo utilizado, así como a la mano de obra necesaria para concluir los cultivos. Se empleó la fórmula de Ruiz-Torres (1996), donde: los beneficios totales corresponden al precio de venta de las lechugas orgánicas en el mercado y los costos totales de producción se refieren a los costos de los insumos utilizados más el costo de la mano de obra. Si el resultado del índice es mayor a 1, el cultivo es rentable económicamente, y si es menor a 1, no presentaría beneficios económicos.

$$\text{Relación Beneficio/Costo} = \frac{\text{Beneficios totales}}{\text{Costos totales de producción}}$$

6.8 Análisis estadístico

Las variables de respuesta se analizaron en un ANOVA completamente al azar, con 25 repeticiones y las medias se compararon por Tukey ($p \leq 0.05$). Se utilizó el programa NCCS versión 7.

7 RESULTADOS

7.1 Atributos de la calidad fisiológica

7.1.1 Nitratos

El policultivo registró un menor valor de nitratos en hojas internas a los 82 días después de la siembra (dds), y aumentando su valor a los 105 dds, mientras que las hojas externas presentaron un contenido de nitratos más elevado a los 82 dds, pero disminuyó a los 105 dds (Figura 1). Ocurrió lo mismo en el monocultivo. Los valores de nitratos fueron más bajos en las hojas internas a los 82 dds y aumentaron a los 105 dds, sin embargo, los nitratos en las hojas externas aumentaron su valor a los 105 dds con respecto a la medición inicial a los 82 dds (Figura 2).

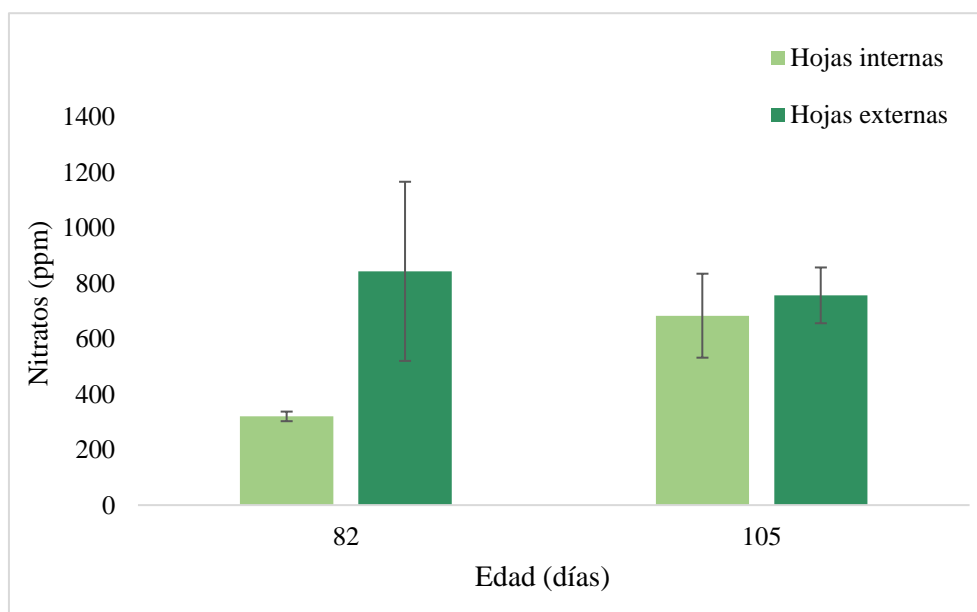


Figura 1. Nitratos (ppm) en hojas de lechuga de policultivo a los 82 y 105 días de edad, en hojas internas y externas.

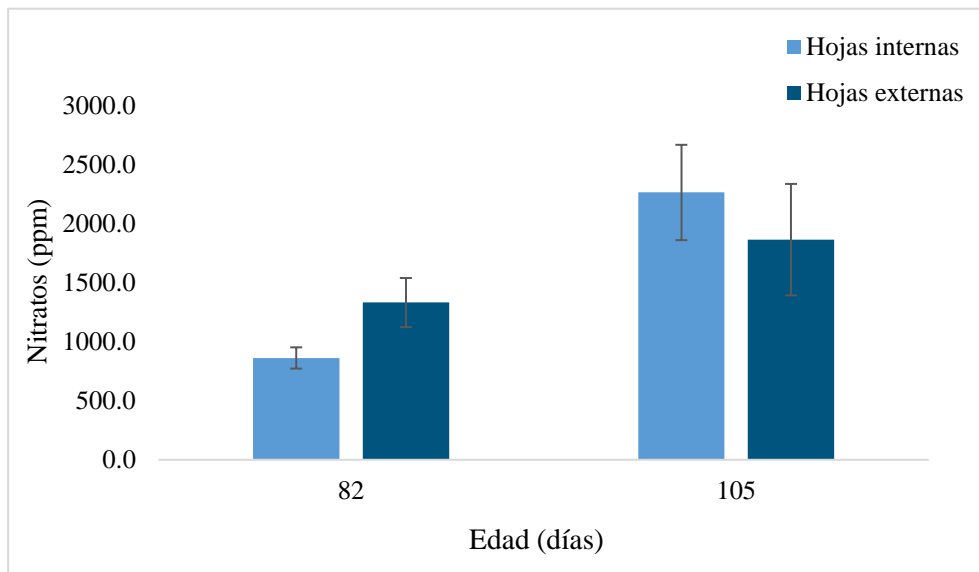


Figura 2. Nitratos (ppm) en hojas de lechuga de monocultivo a los 82 y 105 días de edad, en hojas internas y externas.

7.1.2 Clorofila

El contenido de clorofila en el policultivo fue de 200, mayor con respecto al monocultivo que tuvo una lectura de 150, representando una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre el monocultivo y el cultivo intercalar (Figura 4).

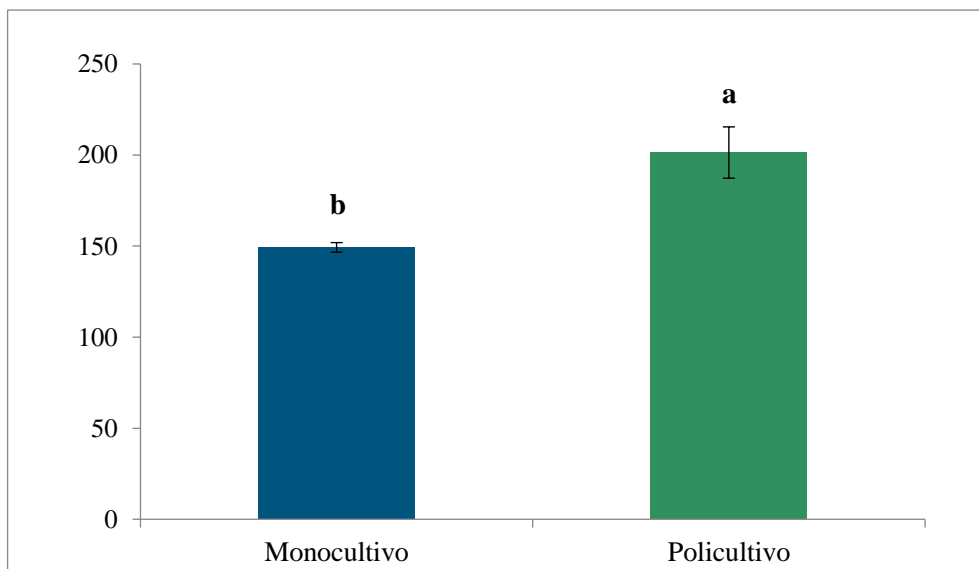


Figura 3. Cantidad de clorofila en hojas de lechuga en mono y policultivo.

7.1.3 Grados Brix

Para las plantas de lechuga del policultivo y monocultivo los grados brix ($^{\circ}\text{Bx}$) presentaron valores más altos en hojas internas a los 82 y 105 dds, mientras que en las hojas externas el contenido de $^{\circ}\text{Bx}$ fue menor en las mismas fechas de medición (Figura 4 y 5). No se presentó diferencia estadística significativa ($p \geq 0.05$) entre tratamientos.

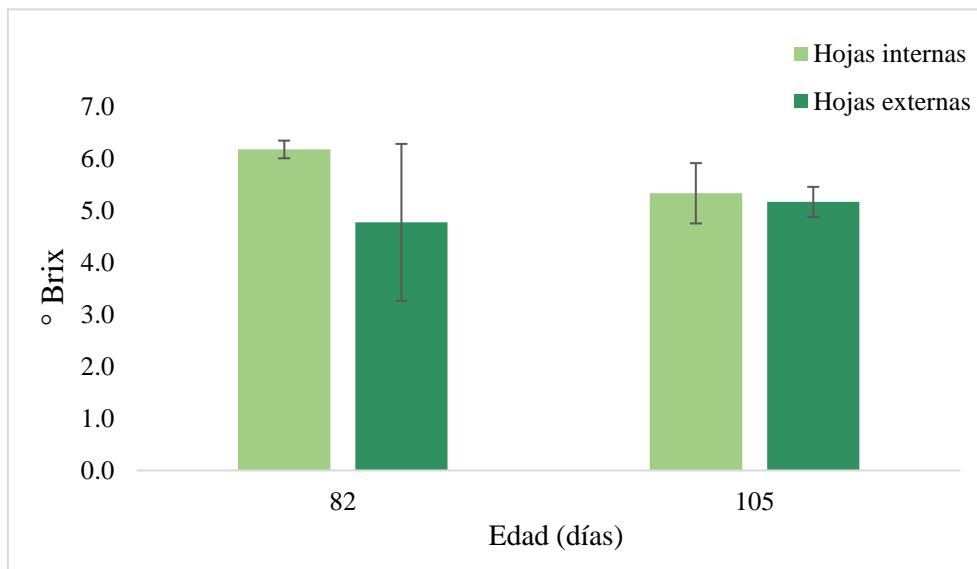


Figura 4. Grados brix en hojas de lechuga de policultivo a los 82 y 105 días de edad, en hojas internas y externas.

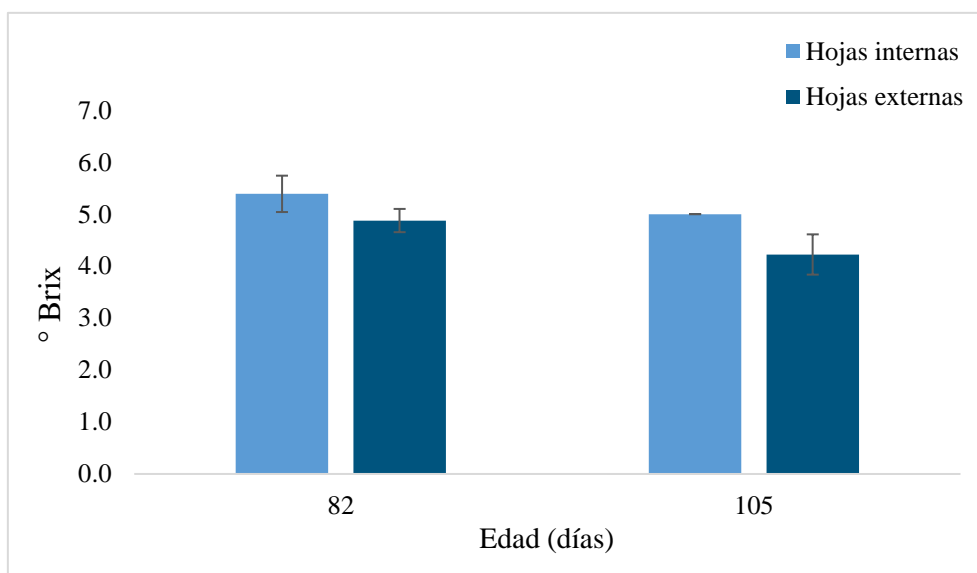


Figura 5. Grados brix en hojas de lechuga de monocultivo a los 82 y 105 días de edad, en hojas internas y externas.

7.2 Atributos de la calidad morfológica

Los valores de la tasa de crecimiento relativa (TCR), la relación r/v y el índice de calidad de Dickson (ICD), presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos (monocultivo y policultivo). Por un lado el monocultivo presentó la TCR más alta en comparación con el policultivo; sin embargo, el policultivo obtuvo una mejor relación raíz-vástago y un mayor ICD. Mientras que el coeficiente de esbeltez no marcó diferencias significativas ($p \geq 0.05$) entre tratamientos (Cuadro 2).

7.3 Atributos del rendimiento

El peso fresco y seco del vástago así como los pesos totales (fresco y seco) no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$) entre tratamientos, sin embargo, el policultivo obtuvo los valores más altos en el peso seco y fresco de la raíz, marcando una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con el monocultivo. Por otro lado, el rendimiento entre mono y policultivo tampoco presentó diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), por lo cual UET resultó < 1 (0.93) (Cuadro 3).

Cuadro 2. Atributos de la calidad morfológica en mono y policultivo correspondientes al promedio de las 25 repeticiones analizadas en cada tratamiento.

	Longitud raíz (cm)	Longitud vástago (cm)	TCR (día⁻¹)	Relación R/V	Coefficiente Esbeltez	Índice de Dickson
Monocultivo	12.58 ± 3.93 a	25.46 ± 3.38 b	0.55 ± 0.004 a	0.49 ± 0.16 b	2.42 ± 0.013 a	2.41 ± 3.23 b
Policultivo	14.13 ± 2.73 b	23.84 ± 4.95 a	0.47 ± 0.003 b	0.59 ± 0.17 a	2.28 ± 0.011 a	6.38 ± 3.94 a

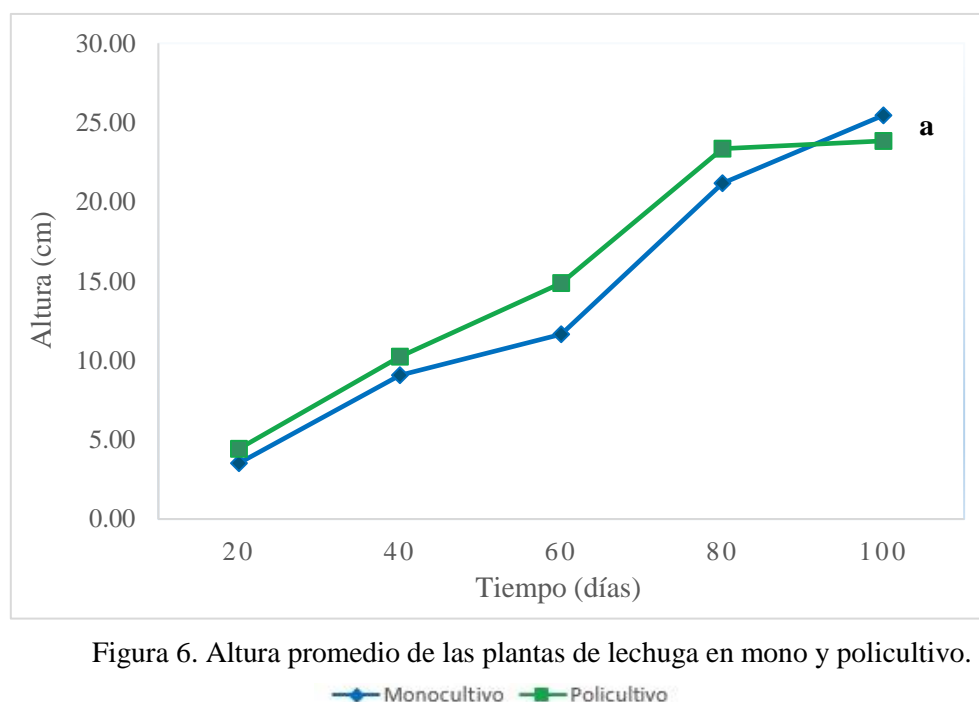
Cuadro 3. Pesos frescos y secos de raíz y vástago en mono y policultivo correspondientes al promedio de las 25 repeticiones analizadas en cada tratamiento. Rendimiento obtenido por cada m² de toda la parcela.

	Peso húmedo vástago (g)	Peso húmedo raíz (g)	Peso húmedo total (g)	Peso seco vástago (g)	Peso seco raíz (g)	Peso seco total (g)	Rendimiento kg/m²
Monocultivo	259.86 ± 97.43 a	11.78 ± 11.10 b	271.65 ± 98.65 a	18.88 ± 6.27 a	2.01 ± 2.41 b	20.89 ± 7.21 a	1.62 ± 99.79 a
Policultivo	221.12 ± 113.45 a	24.90 ± 10.03 a	246.14 ± 120.72 a	18.16 ± 7.81 a	5.02 ± 2.92 a	23.18 ± 10.30 a	1.51 ± 99.40 a

7.4 Variables del crecimiento

7.4.1 Altura, cobertura y número de hojas

La altura, cobertura y número de hojas en las plantas de lechuga en ambos tratamientos (mono y policultivo) no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$). En el caso de la altura las plantas alcanzaron en promedio 25 cm en un tiempo medio de 105 días (Figura 6). La cobertura alcanzó valores de 600 cm² a los 105 días, momento de la cosecha (Figura 7). El número de hojas no presentó diferencias estadísticas entre tratamientos (4-5 hojas/planta a los veinte días después de la siembra y 50-60 hojas/planta al momento de la cosecha) (Figura 8).



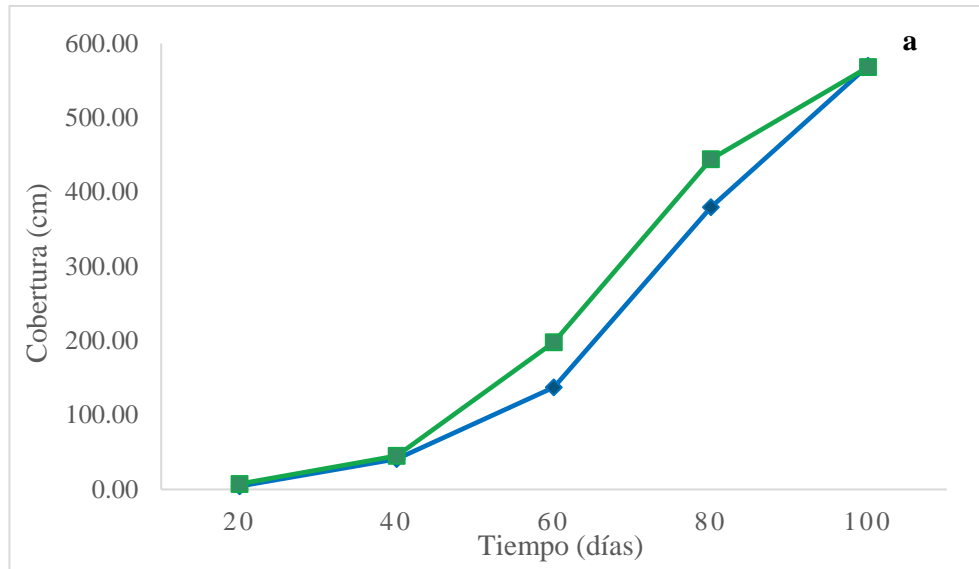


Figura 7. Cobertura promedio de las plantas de lechuga en mono y policultivo.

—◆— Monocultivo —■— Policultivo

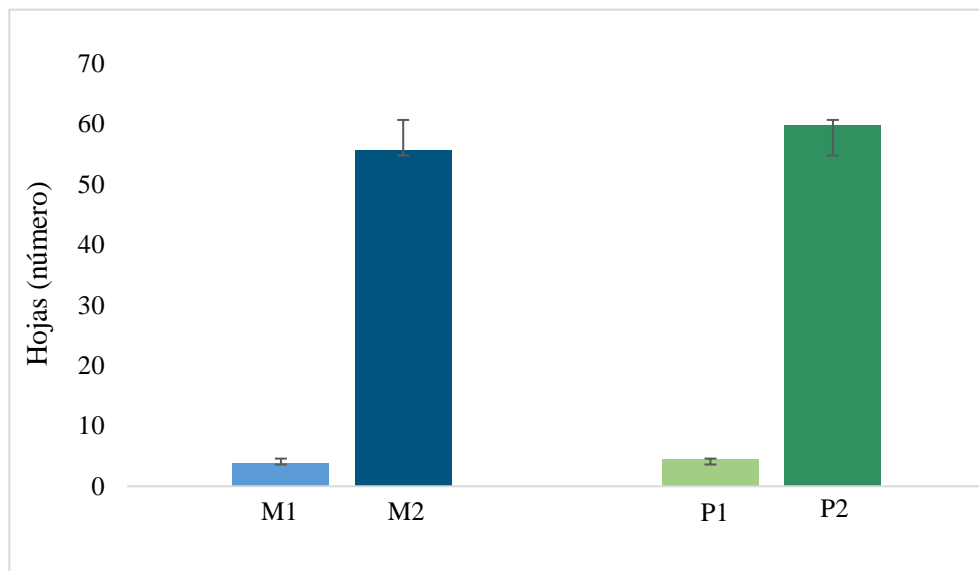


Figura 8. Número de hojas promedio de las plantas de lechuga en mono y policultivo. M1: hojas monocultivo primer conteo (20 dds); M2: hojas monocultivo al momento de la cosecha. P1: hojas policultivo primer conteo (20 dds); P2: hojas policultivo al momento de la cosecha.

7.5 Relación beneficio-costo

La relación beneficio-costo se calculó con base al valor individual de los insumos utilizados y la mano de obra. El costo total obtenido para una producción de 40 lechugas fue de \$470.66 MXN para el monocultivo, teniendo un valor unitario por lechuga de \$11.76 MXN (Cuadro 4); y de \$656.06 MXN para el policultivo, con un valor individual por lechuga de \$16.40 MXN (Cuadro 5). Cabe mencionar que estos costos no incluyeron los materiales necesarios para iniciar una parcela de 6m², como lo son palas, tijeras, regaderas, rastrillo, bieldo, etc., ni tampoco se consideró el agua que se utilizó para el riego (agua de lluvia). Finalmente se obtuvo una relación costo beneficio de 1.88 para el monocultivo y de 1.35 para el policultivo, indicando que ambos cultivos son económicamente rentables.

Cuadro 4. Costo de producción de las lechugas en policultivo.

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$MXN	IMPORTE TOTAL \$MXN
Semillas de lechuga orejona	200	pieza	17.50	1.46
Abono bocashi	13	Kg	4.50	58.50
Mano de obra (jornada laboral)*	30	H	13.69	410.70
TOTAL			35.69	470.66
COSTO UNITARIO POR LECHUGA			\$11.76 MXN	

*Se tomó el valor del salario mínimo (\$123.22 MXN) para el 2021 en la CDMX.

Cuadro 5. Costo de producción de las lechugas en policultivo.

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO \$MN	IMPORTE TOTAL \$MN
Semillas de lechuga orejona	200	Pieza	17.50	1.46
Plantas de hinojo	12	Pieza	15	180
Abono bocashi	14.20	Kg	4.50	63.90
Mano de obra (jornada laboral)*	30	H	13.69	410.70
TOTAL			50.69	656.06
COSTO UNITARIO POR LECHUGA			\$16.40 MXN	

*Se tomó el valor del salario mínimo (\$123.22 MXN) para el 2021 en la CDMX.

8 DISCUSIÓN

8.1 Atributos de la calidad fisiológica

8.1.1 Nitratos, clorofila y grados brix

Los nitratos presentaron una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre ambos tratamientos, siendo el policultivo el que mantuvo en promedio una concentración más baja (651 ppm) con respecto al monocultivo (1583 ppm), sin embargo, los valores obtenidos en ambos tratamientos se encuentran dentro de lo permisible para el consumo humano de acuerdo con la Legislación de la Unión Europea (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2011), en donde se establece que el contenido máximo de nitratos es de 4000 mg/kg en lechugas cultivadas a cielo abierto. El menor contenido de nitratos en el policultivo es el resultado de la asociación de plantas de hinojo con lechugas, aunque ambas especies requieren grandes cantidades de nitrógeno para desarrollarse, la demanda diaria de nutrientes se da de manera progresiva durante su desarrollo.

De acuerdo a Pacheco y Calvache (2015), el hinojo necesita más nitrógeno durante los primeros días de su ciclo reproductivo, mientras que la lechuga requiere menores concentraciones al inicio de su desarrollo, hasta que esta demanda se incrementa durante la etapa de formación del cogollo (El Huerto, 2013).

Las lechugas de ambos tratamientos presentaron un menor contenido de nitratos en las hojas internas o jóvenes y uno mayor en las hojas externas o viejas. En promedio el policultivo tuvo una concentración de nitratos de 800 ppm en hojas externas y 502 ppm en hojas internas y en el monocultivo los resultados fueron de 1600 ppm en hojas externas y 1565 ppm en hojas internas; es decir, que el contenido de nitratos en las hojas disminuyó en las hojas nuevas. De acuerdo a elika Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria (2006), en plantas de lechuga las hojas exteriores presentan un contenido de nitratos superior a las interiores en un 30-40%.

Por otro lado, existen estudios que demuestran que prácticas agroecológicas como la asociación de cultivos o policultivos tienen un efecto positivo en el uso del suelo y también en la reducción de nitratos en hortalizas como la lechuga; por ejemplo Raigón *et al.*, (2006), intercaló hinojo/lechuga e hinojo/escarola, y observó que la mejor asociación fue el hinojo con la lechuga, ya que hubo una mejor utilización del suelo y se obtuvieron mayores beneficios económicos. En 2008, Raigón también registró que la acumulación de los iones nitrato en las hojas de lechuga en asocio con hinojo bajó significativamente en relación al monocultivo de lechuga, ya que el hinojo actúa como planta trampa para los nitratos presentes en el suelo.

El uso de bocashi como abono orgánico, también desempeñó un papel importante en la calidad de las plantas y en la concentración de nitratos en sus hojas. Los abonos orgánicos en general, favorecen no solo las características nutrimentales del sustrato, sino que mejoran su textura, estructura y microbiología, mejorando el crecimiento de las raíces y del follaje de las plantas (FAO-PESA, 2011).

Por otro lado, la relación C/N del abono bocashi permitió una descomposición adecuada de la materia orgánica que lo compone, esto asegura que el nitrógeno en el abono no se encuentre en cantidades excesivas. Además, el proceso de mineralización en sustratos con abonos orgánicos permite una liberación más lenta de los nutrientes como el nitrógeno, lo cual, comparado con el proceso de absorción de nutrientes cuando se aplica un fertilizante químico altamente soluble y que contiene los elementos nutritivos en grandes cantidades, hace que la liberación de nutrientes y traslocación a hojas y frutos sea más rápida. Así los resultados obtenidos en este estudio demostraron que las lechugas, tanto del monocultivo como del policultivo, presentaron concentraciones de nitrógeno en sus hojas dentro de los límites permisibles para el consumo humano.

El bajo contenido de nitratos en las hojas de la lechuga pudo ser consecuencia de la temporada del año en que se realizó el cultivo, así como la práctica de hacerlo a cielo abierto. La acumulación de nitratos por medio de las plantas puede tener diferentes causas: genética o por especie, variedad, edad, órgano, etc., así como por las condiciones del cultivo: temperatura, riego, tipo de abonado y luz (elika, 2006, Raigón, 2010 y Valdés, 2015). La luz juega un papel determinante en la acumulación de nitratos, ya que una elevada intensidad lumínica favorece el metabolismo de la planta, fijando el nitrógeno en compuestos orgánicos nitrogenados, como aminoácidos, proteínas, clorofila, etc., lo que reduce el contenido de nitratos, de modo que cualquier factor que reduzca la intensidad de la luz o la velocidad de la fotosíntesis puede favorecer la acumulación de los mismos en la planta.

Comparando esta información con los resultados obtenidos en este estudio, se registró que las plantas de lechuga del policultivo presentaron un mayor contenido de clorofila en sus hojas y una menor concentración de nitratos, marcando una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con el monocultivo, en donde se registró un menor contenido de clorofila, y por lo tanto, una mayor concentración de nitratos en hojas.

De acuerdo a Villar (*et al.*, 2008), la eficiencia de absorción de radiación tiende a disminuir conforme la planta aumenta de área foliar y en general de tamaño; además, tomando en cuenta que una adecuada absorción de luz depende de distintos aspectos, ya sea la posición en el espacio que ocupa, el índice de área foliar y el ciclo estacional de producción, se podría señalar que el acomodo de las hojas en las plantas es importante para una adecuada captación de luz, ya que a medida que la planta crezca y el número de sus hojas aumente, también lo hará el autosombreado entre ellas. Sin embargo, al ser las lechugas del policultivo las que alcanzaron una mayor lectura en cuanto a clorofila, se puede observar que el hinojo no interfirió negativamente en la captación de la luz solar en dichas plantas.

Cabe mencionar que los cultivos de invierno presentan concentraciones de nitratos superiores a los de verano, así como los cultivos al aire libre tienen menor contenido en nitratos que los de invernadero (elika, 2006 y 2014). Coincidiendo con los resultados obtenidos, ya que los cultivos manejados en este estudio se llevaron a cabo entre los meses de octubre a febrero y en parcelas al aire libre.

Por otro lado, los valores en hojas intermedias para mono y policultivo oscilaron entre 5 y 6 grados brix respectivamente, mientras que para las hojas viejas fue de 4 a 5 grados brix. A pesar de obtener los valores más altos en el policultivo, no se observó una diferencia significativa con respecto al monocultivo.

8.2 Atributos de la calidad morfológica

8.2.1 Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), Relación R/V e Índice de Calidad de Dickson (ICD)

Las plantas de lechuga en policultivo no presentaron diferencias en relación a su altura, tanto cuando fueron cultivadas en monocultivo como en policultivo. Sin embargo la TCR fue menor para las plantas del policultivo, esto como una respuesta a la competencia que de alguna manera se presentó al intercalar la lechuga con el hinojo, lo cual si bien no afectó la

altura, si afectó la TCR. Ayala *et al.* (2011) menciona que la TCR disminuye cronológicamente, pero se incrementa limitadamente al aumentar la radiación fotosintética incidente y con altas temperaturas, manteniéndose constante hasta un determinado momento a partir del cual declina causando el cese del crecimiento. Por otro lado Villar *et al.* (2008) señala que una baja TCR, incluso en condiciones favorables para la planta, le confiere a ésta una capacidad elevada de soportar estrés, que si bien es una característica que implica un coste energético y un menor crecimiento, obtiene a cambio una mayor probabilidad de supervivencia. De acuerdo a lo anterior, en el caso del monocultivo, la TCR mayor fue una consecuencia de una mayor radiación solar incidente sobre las lechugas, lo cual no sucedió en el policultivo, donde el hinojo de alguna manera produjo cierto sombreado sobre las lechugas, reduciendo así la TCR.

La relación R/V es el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente de la planta (Birchler *et al.*, 1998), por lo que mientras más grande sea el sistema radical la planta tendrá más puntos de crecimiento y una mayor capacidad de exploración del suelo para captar agua y nutrientes (Sáenz *et al.*, 2010). En este estudio el policultivo presentó una mejor relación raíz-vástago (15.44) marcando una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con el monocultivo (12.52) por lo que, con base en lo descrito anteriormente, se establece que las plantas de lechuga en el policultivo presentan un mayor equilibrio entre ambas estructuras. Por otro lado, Leyva (2008), menciona que el desarrollo del sistema radical depende del agua que contenga el suelo, y así se determina su crecimiento y desarrollo; sin embargo, el monocultivo y el policultivo de este estudio recibieron la misma cantidad de agua y en las mismas fechas. En el policultivo se presentó un uso diferencial del agua del suelo, donde el hinojo, al tener raíces más profundas que la lechuga, absorbió el agua de capas más profundas del suelo, poniéndola a disposición de las lechugas, lo cual fue una ventaja comparada con el monocultivo (Gliessman, 2002).

El índice de calidad de Dickson fue mayor en el policultivo (6.38) que en el monocultivo (2.41), marcando una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre ambos tratamientos, esto indica que las lechugas del cultivo intercalar presentaron mejores características morfológicas.

El ICD integra la relación R/V, y el coeficiente de esbeltez representa plantas de mejor calidad, lo que implica que, por una parte, el desarrollo de la planta es más vigoroso y al mismo tiempo las partes aérea y radical están equilibradas (Sáenz *et al.*, 2010). Por otro lado, también se puede atribuir un mayor ICD en las lechugas del policultivo debido a las plantas de hinojo, ya que éstas, al cubrir una mayor superficie del terreno (2.1 m) actúan como cultivos de cobertura, al reducir la evaporación del agua en el suelo, y ayudándolo a mantener su humedad.

8.3 Atributos del rendimiento

8.3.1 Peso fresco y peso seco en raíz

El policultivo obtuvo los valores más altos en el peso fresco y seco de la raíz: 623 g y 126 g respectivamente, marcando una diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con los pesos de las raíces en el monocultivo (295 g de peso fresco y 50 g de peso seco), señalando una absorción más adecuada de nutrientes y agua, ya que de acuerdo a Villar *et al.* (2008), existe una relación entre una mayor asignación de biomasa en hojas y por lo tanto una aumentada captación de luz y dióxido de carbono, resultando en una mayor tasa de crecimiento, o bien, en una mayor asignación de biomasa en las raíces que dan como resultado una mayor captación de agua y nutrientes minerales del suelo, pero teniendo un menor crecimiento del área foliar. Los resultados obtenidos en este estudio arrojaron que las plantas del monocultivo obtuvieron un mayor peso en su biomasa foliar sin ser significativo con respecto al policultivo; sin embargo, la TCR sí marcó una diferencia estadística significativa con respecto a las lechugas del cultivo intercalar; por otro lado, la biomasa en raíces fue mayor en las lechugas del policultivo, indicando que estas plantas tuvieron un crecimiento más lento, pero confiriéndole algunas ventajas, como mayor superficie de absorción y un aumento en su tasa de supervivencia en hábitats donde los recursos del suelo son limitados. En este caso la competencia que hubo entre el hinojo y la lechuga.

8.4 Variables de crecimiento

8.4.1 Altura, cobertura y número de hojas

Las plantas de lechuga en ambos tratamientos (mono y policultivo) alcanzaron una altura promedio de 25 cm en un tiempo medio de 105 días, lo cual coincide con lo reportado por otros autores para esta variedad de lechuga (Parris Island), quienes señalan que la altura oscila entre los 20 y los 25 cm en sistemas de monocultivo (Olvera *et al.*, 1999, Jaramillo *et al.*, 2016 y Saavedra *et al.*, 2017); por otro lado, un estudio realizado por Raigón *et al.* (2006), señala que la lechuga orejona intercalada con hinojo presenta alturas de 22 a 26 cm. En cuanto a la cobertura, la medida promedio fue de 600 cm² al momento de la cosecha (105 días); lo cual fue similar a lo reportado por Hernández-Galicia (2018), quien indica que en un sistema de policultivo (lechuga y cebollín) la medida final fue de 600 cm²; sin embargo, los valores que presenta Juárez-Sifuentes (2014), oscilan entre los 150-420 cm² para esta misma variedad de lechuga.

Finalmente, el número de hojas para las lechugas de ambos tratamientos tampoco presentó diferencias estadísticas significativas ($p \geq 0.05$). La cantidad osciló entre 50 y 60 hojas/planta al momento de la cosecha. Para este dato no existe un registro específico en la literatura; sin embargo, un estudio realizado por Velázquez-Rodríguez (2015), señala que la variedad Parris Island obtuvo los resultados más altos en cuanto al número de hojas; mientras que Martínez *et al.* (2015), realizó una evaluación para el cultivo de lechuga, utilizando tres variedades de esta planta, obteniendo como resultado un mayor número de hojas en la lechuga orejona (45). Los datos obtenidos en este estudio para estos parámetros no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, lo que es un indicador de que la competencia del hinojo con las lechugas en el sistema de policultivo no afectó el número de hojas ni la longitud de éstas.

Por otro lado, la asociación de cultivos o policultivos tienen mayores ventajas sobre los monocultivos, ya que el suelo, el espacio, y los recursos son mejor aprovechados por las plantas. Además de que éstas ejercen un efecto alelopático a través de las raíces, hojas o

frutos, que pueden provocar efectos inhibidores o estimuladores en el crecimiento de las plantas vecinas o evitar la acción de algunos insectos (Sauca *et al.*, 2005).

Es importante conocer cuáles son buenas asociaciones y cuáles no; en este estudio, al colocar dos especies diferentes en una misma parcela (hinojo y lechuga), los resultados arrojaron que la asociación fue positiva, ya que la competencia por los recursos y la presencia de una especie no afectó el crecimiento de la otra.

9 CONCLUSIONES

- I. La lechuga orejona cultivada en mono y policultivo, utilizando un sustrato con abono orgánico bocashi, presentó bajas concentraciones de nitratos en sus hojas con valores permisibles y sin riesgo para el consumo humano.
- II. El policultivo lechuga-hinojo redujo en un 58.87% la concentración de nitratos en hojas.
- III. La asociación lechuga-hinojo no afecta el rendimiento de la lechuga, resultando similar al del monocultivo, por lo que la asociación es favorable para ambas especies.
- IV. La hipótesis del trabajo se cumplió satisfactoriamente, ya que el hinojo intercalado con la lechuga presentó una baja concentración de nitratos en hojas.
- V. El policultivo y el monocultivo, bajo las prácticas agroecológicas implementadas, son económicamente rentables para su producción.

10 REFERENCIAS

- Agredo, E. 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.
- Agricultores, Red de Especialistas en Agricultura. *¿Qué son los grados brix?*
<https://agriculturers.com/que-son-los-grados-brix/>
- Alemán-Pérez, R. Bravo-Medina, C. y Fargas-Clua, M. (2018). *Fertilización orgánica en cultivos de lechuga (Lactuca sativa L.) y rábano (Raphanus sativus L.) en la Amazonía ecuatoriana*. Edición Associació Catalana d'Enginyeria Sense Fronteres. (pp. 22). Puyo, Ecuador.
- Alonso-Esteban, J. I. (2015). *El hinojo (Foeniculum vulgare Mil.) en las Ciencias Farmacéuticas*. Tesis de licenciatura. Universidad Complutense.
- Almudena, A. y Lizaso, J. (2001). *Nitritos, nitratos y nitrosaminas*. Fundación Ibérica para la Seguridad Alimentaria. Madrid, España.
- Beretta-Blanco, A. (2011). *Niveles de nitrato en hortalizas de hoja en Uruguay: Valores típicos, rangos de variación y evaluación de metodologías de determinación*. Tesis de maestría. Universidad de la República.
- Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. (2009). *Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana. Hinojo*.
<http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/monografia.php?l=3&t=hinojo&id=773>
- Birchler, T., Rose, R. W., Royo, A. y Pardos, M. (1998). *La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica*. Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales. (pp. 109-115). Madrid, España.

- Brady, N. y Weil, R.R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. 12^a. edition. Prentice Hall. (pp. 881). New Jersey, US.
- Cabrera, P. (2011). *Aboneras tipo bocashi. Buenas prácticas*. Programa Extraordinario de Apoyo a la Seguridad Alimentaria y Nutricional (Food Facility), FAO/Unión Europea. Guatemala.
- CCB, Cámara de Comercio de Bogotá (2015). *Manual Lechuga*. Programa de apoyo Agrícola y Agroindustrial. Vicepresidencia de Fortalecimiento Empresarial. Colombia.
- Carrasco, G., Tapia, J. y Urrestarazu, M. (2006). Contenido de nitratos en lechugas cultivadas en sistemas hidropónicos. *IDESIA*, 24 (1), 26-28.
- Casaca, A. (2005). *El cultivo de la Lechuga (Lactuca sativa L.)*. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales, PROMOSTA, DICTA, 1. Costa Rica.
- Casierra-Posada, F., Ávila-León, O. F. y Riascos-Ortiz, D. H. (2012). Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. *Revista Temas Agrarios*. 17 (1), 60-71.
- CEDRSSA, Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2020). *Análisis de la producción y consumo de hortalizas*. Cámara de Diputados LXIV Legislatura. Palacio Legislativo de San Lázaro, Ciudad de México.
- Cerrato, M. E., Leblanc, H. A. y Kameko, C. (2007). Potencial de mineralización de nitrógeno de bokashi, compost y lombricompost producidos en la Universidad Earth. *Revista Tierra Tropical*, 3 (2), 183-197.
- Cooper, H.D. y Clarkson, D.T. (1989). Cycling amino-nitrogen and other nutrients between shoots and roots in cereals. A possible mechanism integrating shoot and root in the regulation of nutrient uptake. *Journal Experimental botany*, 40, 753-762.

Di Benedetto, A. y Tognetti, J. (2016). Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA*. (3), 258.

Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 2011. Reglamento (CE) N° 1258/2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:320:0015:0017:ES:PDF>

El Huerto. (2013). *Fertilización de la lechuga*. Boletín N° 90. Líderes en el Negocio Agroalimentario. Grupo Cajamar, Caja Rural. España.

elika (2006). *Nitratos y Nitritos en hortalizas de hoja verde*. Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria. www.elika.net

elika (2014). *Nitratos*. Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria. www.elika.net

Enciso-Espíndola, A. R. y Espinoza-Arteaga, J. E. (2010). *Evaluación del uso equivalente de terreno y eficiencias de extracción de tres dosificaciones de nutrientes en un sistema de policultivo de maíz dulce, habichuela y pepino, en Zamorano, Honduras*. Tesis de licenciatura. Ingeniería Agrónoma. Honduras.

Escamilla-Pérez, B., Moreno-Casasola, P., Pérez-Utrera, E., Utrera-Urea, E., Tronco-López, C., Tronco-López, B., Tronco-Morales, G. y Grupo Mujeres del Vivero de El Piñonal. (2015). *Plantas medicinales de La Matamba y El Piñonal, municipio de Jamapa, Veracruz*. Instituto de Ecología (INECOL). (pp. 62-63). México.

FAO-PESA. (2011). *Elaboración y uso del bocashi*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA). El Salvador. <http://www.fao.org/3/at788s/at788s.pdf>

García-Quijano, D. y Santiago-Galdeano, M. T. (2011). *Alimentos ecológicos, alimentación sana*. https://www.grefa.org/grefa/alimentos_ecologicos.pdf

- Giaconi, V. y Escaff, M. (2001). *Cultivo de Hortalizas* (15ª ed.). Editorial Universitaria. Santiago, Chile.
- 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. C., Martínez, O. C., y Monterroza, D. M. (2012). *Influencia de la aplicación de bocashi y lombriabono en el rendimiento de calabacín (Curcubita 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. El Salvador.
- Gliessman, S. (2002). *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. CATIE. Turrialba, (pp. 243). Costa Rica.
- Gómez-Cruz, M., Schwentesius-Rindermann, R., y Merino-Sepúlveda, A. (1991). *El consumo de hortalizas en México*. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma de Chapingo.
- Hernández-Galicia, R. R. (2018). *Rendimiento de lechuga con cebollín y de perejil con espinaca en cultivo intercalado*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.
- Hunt, R. (1978). *Plant growth analysis*. Edward Arnold Publishers. (pp. 67). London.
- IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada*. Serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10418_Fertilizacion_nitrogenada_07_e65c2f47.pdf

INEGI:<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&c=09>

Jacobo-Velázquez, D. y Cisneros-Zevallos, L. (2009) Correlations of antioxidant activity against phenolic content revisited: a new approach in data analysis for food and medicinal plants. *Journal of Food Science* 74:R107-R113, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01352.x>

Jaramillo-Noroña, J., Aguilar-Aguilar, P., Tamayo-Molano, P., Arguello-Rincón, E., Guzmán-Arroyave, M. y CORPOICA. (2016). *Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga bajo buenas prácticas agrícolas en el Oriente Antioqueño*. (pp. 33). Medellín, Colombia.

Juárez-Sifuentes, H. (2014). *Cultivo hidropónico en mangas verticales de dos variedades de acelga y lechuga*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México.

Leyva, R. F., Rosell P. R., Ramírez R. A. y Romero R. I. (2008). *Manejo de endurecimiento por riego para elevar la calidad de las plantas de Eucalyptus sp. cultivadas en vivero de la Unidad Silvícola Campechuela*. Universidad de Granma. Central del Batey. Campechuela. Granma. (pp. 14). Cuba.

López-López, G., Magaña-Lira, N. y Vázquez-Romero, C. (2014). *Cultivo de Lechuga*. <https://es.scribd.com/document/382580052/CULTIVO-DE-LECHUGA-sagarpa-pdf>

Luna-Hernández, A. (2014). Cap. 5 Lombricomposta, en Orozco-Almanza, M. S., Monroy-Ata, A., López-Vicente, L., Cruz-Flores, G. y Báez-Santos, R. *El huerto urbano, cultivo ecológico. Modelos para su establecimiento en balcones, paredes, terrazas y azoteas*. pp. 56-57. México. UNAM, FES Zaragoza.

Martín-Olmedo, P. (1993). *Mineralización del nitrógeno orgánico en suelos tratados con compost de alpechín y vinaza concentrada de melaza de remolacha*. XXX Curso Internacional de

Edafología y Biología Vegetal. Proyecto AGR-0600 del Plan Nacional de Ciencias Agrarias (CICYT). Sevilla, España.

Martínez-Carrillo, G., Lara-Herrera, A., Padilla-Bernal, L., Luna-Flores, M., Avelar-Mejía, J. y Llamas-Llamas, J. (2015). Evaluación técnica y financiera del cultivo de lechuga en invernadero, como alternativa para invierno. *Terra latinoamericana*, 33 (3), 252.

Martínez-Gaspar, F. J., Ojeda-Barrios, D. L., Hernández-Rodríguez, O. A., Martínez-Téllez, J. J. y De la O-Quezada, G. (2011). El exceso de nitratos, un problema actual en la agricultura. *Revista Synthesis*, 57, 11-16.

Medina-Jiménez, F. (2017). *Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga*. <https://docplayer.es/58878105-Necesidades-nutricionales-y-de-riego-de-la-lechuga.html>

Miller-J., A. y Smith-J., S. (1996). Nitrate transport and compartmentation in cereal root cells. *Journal Experimental Botany* 47, 843-854.

MINSAL (2015). *Hinojo (Foeniculum vulgare Mill.)*. Medicamentos Herbales Tradicionales. <https://www.minsal.cl/portal/url/item/7d98ad06d33883d5e04001011f016dbb.pdf>

Monsalve, O. (1998). Compatibilidad agronómica del cultivo intercalado de papa (*Solanum tuberosum*) y cebolla (*Allium fistulosum*). *Revista Latinoamericana de la Papa*, 1, 74-83.

Morales-Flores, F. y Martínez-Menez, M. (2015). *Rotación de cultivos*. SAGARPA (SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION), Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural, México. Ficha de consulta, 2(06).

Muñoz-Flores, H. J., Sáenz-Reyes, J. T., Coria-Ávalos, V. M., García-Magaña, J. J., Hernández-Ramos, J. y Manzanilla-Quijada, G. E. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La

Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6 (27), 72-89.

Muro, J., Irigoyen, I. y Lamsfus, C. (1998). *Acumulación de nitratos en hortalizas de hoja. Avances en el Metabolismo del Nitrógeno: de la Fisiología a la Biología Molecular*. Universidad de Sevilla. (pp. 584).España.

Olvera-González, J., Sánchez-Robles, J., Ochoa-Bautista, R., Rodríguez-Cruz, F., Roque-Zavaleta, J., Ortega-Rivas, C., Palacios-Flores, H. y Carrillo-Trueba, L. (1999). La lechuga: dos caras de una moneda. *Revista Claridades Agropecuarias*, 69, 5.

Orozco-Almanza, M. S., Monroy-Ata, A., López-Vicente, L., Cruz-Flores, G., Luna-Hernández, A. y Báez-Santos, R. (2014). *El huerto urbano, cultivo ecológico. Modelos para su establecimiento en balcones, paredes, terrazas y azoteas*. pp. 147. México. UNAM, FES Zaragoza.

Osorio-Bedoya, J. y Lobo-Arias, M. (1983). *Lechuga*.
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13360>

Pacheco, W. y Calvache, M. (2015). *Absorción de nutrientes en el cultivo de hinojo (Foeniculum vulgare). Elquinche. Pichincha*. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/3-Absorcion-de-nutrientes-de-hinojo-Pacheco-W.pdf>

Perdomo, C. y Barbazán, M. (1998). *Nitrógeno. Facultad de Agronomía*.
<http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

Pereyra-Cardozo, M. (2001). *Asimilación del nitrógeno en plantas*. Publicación de la Facultad de Agronomía, Universidad de la Pampa. La Pampa, Argentina.

Pérez-Vázquez, A. y Landeros-Sánchez, C. (2009). Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos* 73, 19-25.

- Prieto, J. A. y Alarcón, B. (1998). Producción de planta forestal. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP-SAGAR. Durango, Dgo., México. *Folleto Técnico número 10*, 19.
- Quiroz-Marchant, I., García-Rivas, E., González-Ortega, M., Chung Gun-Po, P. y Soto-Guevara, H. (2009). *Vivero Forestal: Producción de plantas nativas a raíz cubierta*. Centro Tecnológico de la Planta Forestal. INFOR Sede Bío-Bío. (pp. 41-45). Chile.
- Raigón-Jiménez, M. D. (2007). *Los alimentos ecológicos: calidad y salud*. JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). España.
- Raigón-Jiménez, M. D. (2008). *Disminución de sustancias nocivas: Nitratos. Alimentos ecológicos, calidad y salud*. España: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- Raigón-Jiménez, M. D. (2009). *EcoCalidad. Calidad del alimento ecológico*. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE). España.
- Raigón-Jiménez, M. D. (2010). La calidad de los alimentos ecológicos. *Agricultura y Ganadería Ecológica*, 0, 52-55.
- Raigón-Jiménez, M. D., García-Martínez, M. D., Guerrero, C., Esteve, P. y Domínguez-Gento, A. (2006). *Influencia de la asociación de cultivo sobre la relación equivalente de suelo*. VII Congreso SEAE, 159.
- Rincón-Sánchez, L., Pérez-Crespo, A., Pellicer-Botía, C., Sáez-Sironi, J. y Abadía-Sánchez, A. (2002). *Influencia de la fertilización nitrogenada en la absorción de nitrógeno y acumulación de nitratos en la lechuga iceberg*. Investigación Agraria 17 (2).
- Rincón-Sánchez, L. (2005). *Fertilización nitrogenada y contenido de nitratos en hojas de lechuga Iceberg*. Vida Rural, 210.

- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal*. Mundi Prensa. (pp. 156). México.
- Rojas, J. C. (2018). *Nitrito y Nitrato*. <https://silo.tips/download/codigo-ce-nitrito-potasico-e-249-nitrito-sodico-e-250-nitrato-sodico-e-251-nitra>
- Rozano-Ladrón, V., Quiroz-Santiago, C., Acosta-Pulido, J. C., Pimentel-Ayaquica, L. y Quiñones-Ramírez, E. (2004). Hortalizas, las llaves de la energía. *Revista Digital Universitaria*, 5(7).
- Ruiz-Torres, J. (1996). *Evaluación de proyectos agropecuarios*. Durango: Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. México. Universidad Autónoma de Chihuahua, UACH.
- Saavedra del R., G., Corradini-S., F., Antúnez-B., A., Felmer-E. S., Estay-P., P. y Sepúlveda-R., P. (2017). Manual de producción de lechuga. *Boletín INIA*, 09, 23.
- Sáenz-Reyes, J. T., Villaseñor-Ramírez, F. J., Muñoz-Flores, H. J., Rueda-Sánchez, A. y Prieto-Ruiz, J. A. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. *Folleto técnico INIFAP*, 17, 9.
- SAG, Servicio Agrícola y Ganadero. (2013). *Agricultura orgánica nacional. Bases técnicas y situación actual*. http://www.sag.cl/sites/default/files/agricultura_org._nacional_bases_tecnicas_y_situacion_actual_2013.pdf
- Sánchez, T.M. (2010). *Evaluación de la calidad de lechuga (Lactuca sativa L.) respecto a su contenido de nitratos y materia seca*. *Revista de la Facultad de Agronomía-UNLPam*, 21.
- Sánchez, T. M., Siliquini, O. A., Gili, A. A., Baudino, E. M. y Morazzo, G. C., (2012). *Contenido de nitratos y proteína en lechuga crespa y amaranto hortícola producidos con enmiendo y urea*. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18.

- Sauca-Ibiricu, E. y Urabayen-Aróstegui, D. (2005). Rotaciones y Asociaciones de cultivos. *Monográficos Ekonekazaritza*, 7, 10-12.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2016). *Anuario estadístico de la producción agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México.
- Tirador, M. (2011). *Caracterización del contenido de nitratos y la composición nutricional en zanahoria (Daucus carota L.) cultivada con diferentes dosis de fertilización NP*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, UN de Cuyo, Mendoza.
- Trinidad-Santos, A. (2015). Abonos orgánicos. *SAGARPA (SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACION) Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. México. Ficha de consulta*, 4(06).
- Valdés, A. (2015). *Contenido de nitratos en lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en la 3ª Zona de Riego del Río Mendoza*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza.
- Vandermeer, J. (1989). *The ecology of intercropping*. Cambridge University Press. (pp. 137). Cambridge, UK.
- Velázquez-Rodríguez, R. (2015). *Uso de un acidificante-buferizante en una solución nutritiva para la producción de lechuga en hidroponía*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México.
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Quero, J. L., Poorter, H., Valladares, F. y Marañón, T. (2008). *Tasa de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas*. Digital.CSIC <http://hdl.handle.net/10261/47933>

REGLAMENTO (UE) Nº 1258/2011 DE LA COMISIÓN

de 2 de diciembre de 2011

que modifica el Reglamento (CE) nº 1881/2006 por lo que respecta al contenido máximo de nitratos en los productos alimenticios

(Texto pertinente a efectos del EEE)

LA COMISIÓN EUROPEA,

Visto el Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea,

Visto el Reglamento (CEE) nº 315/93 del Consejo, de 8 de febrero de 1993, por el que se establecen procedimientos comunitarios en relación con los contaminantes presentes en los productos alimenticios ⁽¹⁾, y, en particular, su artículo 2, apartado 3,

Considerando lo siguiente:

- (1) El Reglamento (CE) nº 1881/2006 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2006, por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios ⁽²⁾, establece contenidos máximos para los nitratos presentes en determinadas hortalizas de hoja.
- (2) En algunos casos, se superan los contenidos máximos pese a los avances de las buenas prácticas agrícolas, por lo que se concedió una excepción temporal a algunos Estados miembros para comercializar determinadas hortalizas de hoja cultivadas, en su territorio y destinadas a consumo en el mismo, cuyo contenido de nitratos superaba los límites máximos establecidos.
- (3) Desde la aplicación de los contenidos máximos de nitratos a las lechugas y las espinacas, se han realizado múltiples investigaciones sobre los factores que intervienen en la presencia de nitratos en dichas hortalizas y sobre las medidas que han de adoptarse para reducir tanto como sea posible la presencia de nitratos en las mismas. Pese a los avances conseguidos en las buenas prácticas agrícolas para reducir la presencia de nitratos en las lechugas y las espinacas, y a pesar de una aplicación estricta de estas buenas prácticas agrícolas, en determinadas regiones de la Unión no es posible conseguir permanentemente un contenido de nitratos en las lechugas y las espinacas frescas inferior a los límites máximos actuales. Ello se debe a que el clima, y en particular, las condiciones de luminosidad, constituyen el principal factor determinante de la presencia de nitratos en las lechugas y las espinacas. El productor no puede gestionar ni cambiar estas condiciones climáticas.
- (4) Para proporcionar una base científica actualizada a la estrategia a largo plazo de gestión del riesgo que suponen los nitratos en las hortalizas, era necesario contar con una evaluación científica del riesgo realizada por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) que tuviera en cuenta nuevos datos. Dicha evaluación debía tener en cuenta cualquier consideración pertinente sobre los riesgos y los beneficios, por ejemplo, comparando el posible efecto negativo de los nitratos con los posibles efectos positivos de consumir hortalizas, como las actividades antioxidantes u otras propiedades que de alguna manera puedan contrarrestar o compensar los riesgos que suponen los nitratos y los compuestos nitrosados resultantes.

- (5) A petición de la Comisión, la Comisión Técnica Científica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria («la Comisión Técnica») adoptó el 10 de abril de 2008 un Dictamen científico sobre los nitratos en las hortalizas ⁽³⁾. La Comisión Técnica comparó los riesgos y los beneficios de la exposición a los nitratos procedentes de las hortalizas. Globalmente, es poco probable que la exposición estimada a los nitratos procedentes de las hortalizas conlleve riesgos para la salud apreciables, por lo que prevalecen los efectos beneficiosos constatados del consumo de hortalizas. La Comisión Técnica reconoció que existían circunstancias ocasionales (por ejemplo, unas condiciones desfavorables para la producción local/doméstica) en el caso de hortalizas que constituyen una gran parte de la dieta o individuos con una dieta con alto contenido de hortalizas, como la rúcula, que es necesario evaluar caso por caso.
- (6) A raíz del debate sobre las medidas adecuadas y las inquietudes expresadas acerca de los posibles riesgos para los lactantes y los niños de corta edad posteriores a una exposición debida a una ingesta alimentaria de corta duración, la Comisión solicitó a la EFSA una declaración científica complementaria sobre los nitratos en las hortalizas, en la que se evalúen con más detalle los posibles riesgos para los lactantes y los niños de corta edad relacionados con la presencia de nitratos en las hortalizas frescas, incluyendo también la ingesta alimentaria de corta duración y teniendo en cuenta los datos recientes sobre la presencia de nitratos en las hortalizas, datos más detallados sobre el consumo de hortalizas de los lactantes y los niños de corta edad y la posibilidad de establecer unos contenidos máximos de nitratos en las hortalizas de hoja ligeramente superiores a los actuales. La Comisión Técnica adoptó el 1 de diciembre de 2010 una Declaración sobre los posibles riesgos de la presencia de nitratos en las hortalizas de hoja para los lactantes y los niños de corta edad en el ámbito de la salud pública ⁽⁴⁾.
- (7) En dicha declaración, la Comisión Técnica concluyó que es poco probable que la exposición a los contenidos máximos actuales o previstos de nitratos presentes en las espinacas cocinadas procedentes de espinacas frescas

⁽³⁾ «Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables» (Dictamen de la Comisión Técnica Científica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria, emitido a raíz de la petición de la Comisión Europea de realizar una evaluación científica del riesgo de los nitratos en las hortalizas), *The EFSA Journal* (2008) nº 689, p. 1. <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/689.pdf>.

⁽⁴⁾ Comisión Técnica de Contaminantes de la Cadena Alimentaria de la EFSA (CONTAM), «Scientific Opinion on possible health risks for infants and young children from the presence of nitrates in leafy vegetables» (Dictamen científico sobre los posibles riesgos para la salud de los lactantes y los niños de corta edad de la presencia de nitratos en las hortalizas de hoja), *The EFSA Journal* 2010; 8(12):1935. doi:10.2903/j.efsa.2010.1935. <http://www.efsa.europa.eu/en/scdocs/doc/1935.pdf>.

⁽¹⁾ DO L 37 de 13.2.1993, p. 1.

⁽²⁾ DO L 364 de 20.12.2006, p. 5.

constituya un problema para la salud, aunque no pueda excluirse que haya un riesgo para algunos lactantes que ingieran más de una comida de espinacas al día. La EFSA señaló que no había tenido en cuenta los posibles cambios en el contenido de nitratos debidos a la preparación de los alimentos, como el lavado, el pelado o el cocinado, debido a la falta de datos representativos. Por tanto, el no haber tenido en cuenta el impacto cuantitativo de la preparación de los alimentos en los contenidos de nitratos puede conducir a una sobreestimación de la exposición. Además, se concluyó que los contenidos de nitratos en las lechugas no constituían un problema de salud para los niños. La aplicación de los contenidos máximos actuales de nitratos en las lechugas y las espinacas, o los contenidos máximos previstos, que son 500 mg/kg superiores a los contenidos máximos actuales, tendría un impacto poco importante.

- (8) A fin de proporcionar seguridad jurídica a los productores de todas las regiones de la Unión Europea que aplican estrictamente buenas prácticas agrícolas para reducir la presencia de nitratos en las espinacas y las lechugas tanto como sea posible, procede aumentar ligeramente el contenido máximo de nitratos contenidos en las espinacas frescas y las lechugas sin poner en peligro la salud pública.
- (9) Debido al contenido de nitratos hallado en la rúcula, que a veces es muy elevado, procede establecer un contenido máximo para dicha hortaliza. El contenido máximo para la rúcula debe revisarse dentro de dos años a fin de reducir los contenidos, una vez que se hayan identificado los factores que intervienen en la presencia de nitratos en la rúcula y se hayan aplicado íntegramente a la rúcula las buenas prácticas agrícolas para minimizar su contenido en nitratos.
- (10) Dado que la EFSA ha recibido el mandato de la Comisión de recopilar en una base de datos todos los datos sobre la presencia de contaminantes en los alimentos, incluidos los nitratos, conviene comunicar los resultados directamente a la EFSA.

- (11) Las medidas previstas en el presente Reglamento se ajustan al dictamen del Comité permanente de la cadena alimentaria y de sanidad animal, y ni el Parlamento Europeo ni el Consejo se han opuesto a ellas.

HA ADOPTADO EL PRESENTE REGLAMENTO:

Artículo 1

El Reglamento (CE) nº 1881/2006 queda modificado como sigue:

- 1) En el artículo 7, se suprimen los apartados 1, 2 y 3.
- 2) En el artículo 9, el apartado 1 se sustituye por el texto siguiente:

«1. Los Estados miembros controlarán el contenido de nitratos en las hortalizas que puedan contenerlos en niveles importantes, en particular en las hortalizas de hoja verde, y comunicarán periódicamente los resultados a la EFSA.»
- 3) En el anexo, la sección 1, relativa al nitrato, se sustituye por la sección que figura en el anexo del presente Reglamento.

Artículo 2

El presente Reglamento entrará en vigor el vigésimo día siguiente al de su publicación en el *Diario Oficial de la Unión Europea*.

Será aplicable a partir de su fecha de entrada en vigor. No obstante, el contenido máximo correspondiente a la rúcula previsto en el punto 1.5 del anexo se aplicará a partir del 1 de abril de 2012.

El presente Reglamento será obligatorio en todos sus elementos y directamente aplicable en cada Estado miembro.

Hecho en Bruselas, el 2 de diciembre de 2011.

Por la Comisión
El Presidente
José Manuel BARROSO

ANEXO

•Sección 1: Nitratos

Productos alimenticios ⁽¹⁾		Contenidos máximos (mg NO ₃ /kg)	
1.1	Espinacas frescas (<i>Spinacia oleracea</i>) ⁽²⁾		3 500
1.2	Espinacas en conserva, refrigeradas o congeladas		2 000
1.3	Lechugas frescas (<i>Lactuca sativa</i> L.) (lechugas de invernadero y cultivadas al aire libre) excepto las lechugas mencionadas en el punto 1.4	Recolectadas entre el 1 de octubre y el 31 de marzo: lechugas cultivadas en invernadero lechugas cultivadas al aire libre	5 000 4 000
		Recolectadas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre: lechugas cultivadas en invernadero lechugas cultivadas al aire libre	4 000 3 000
1.4	Lechugas del tipo "Iceberg"	Lechugas cultivadas en invernadero	2 500
		Lechugas cultivadas al aire libre	2 000
1.5	Rúcula (<i>Eruca sativa</i> , <i>Diplotaxis</i> sp., <i>Brassica tenuifolia</i> , <i>Sisymbrium tenuifolium</i>)	Recolectadas entre el 1 de octubre y el 31 de marzo:	7 000
		Recolectadas entre el 1 de abril y el 30 de septiembre:	6 000
1.6	Alimentos elaborados a base de cereales y alimentos infantiles para lactantes y niños de corta edad ⁽³⁾ ⁽⁴⁾		200*

ANEXO 2. Elaboración del abono orgánico bocashi.

Para la elaboración del bocashi se siguió el método de Orozco *et al.* (2014), sin embargo, se hizo un ajuste en la cantidad de materiales utilizados para preparar 105 kg de abono. Los materiales y el procedimiento fueron los siguientes:

- I. Materiales que aportan materia orgánica:** los insumos que se utilizan en la preparación del abono orgánico se clasifican para fines prácticos en frescos, secos y en polvo.

Materiales secos que aportan nitrógeno, fósforo y potasio:	Estiércol de caballo 30 kg Hojasasca 10kg
--	--

Materiales frescos (preferentemente picados) que aportan: nitrógeno, fósforo y potasio:	Pasto 10kg
---	------------

Materiales en polvo que aportan potasio, calcio, fósforo, sílice y microorganismos eficientes:	Salvado de trigo 18 kg Carbón 7.5 kg Tierra de monte 30 kg 1 g de: cal, roca fosfórica, dolomita y zeolita
--	---

Otros materiales	Melaza 4 l Levadura 225 g Leche agria 3 l Microorganismos eficientes 10 l
------------------	--

II. Procedimiento para la elaboración del abono.

El bocashi se prepara en un lugar ventilado, de preferencia protegido del sol, el viento y las lluvias, ya que estos factores pueden interferir en el proceso de fermentación, lo que afecta la calidad del abono. Este lugar debe estar ubicado cerca de los materiales a utilizar y cerca de una fuente de agua limpia.

- **Preparación de los aceleradores:** se diluye de forma uniforme la melaza (4 l) y la levadura (225 g) en 11 l de agua.
- **Incorporación de los materiales:** se coloca una lona o plástico en el suelo, y sobre él se agregan los materiales capa por capa en el siguiente orden: hojarasca, tierra, salvado, estiércol, carbón, harina de roca (se mezclan la roca fosfórica, dolomita, zeolita y cal).
- **Humedecer la mezcla:** Se aplica la mezcla de melaza con levadura, los microorganismos eficientes y la leche. Se le agrega más agua de ser necesario, para que la primera capa quede lo suficientemente humedecida antes de colocar una segunda capa de materiales. El punto óptimo de humedad es cuando al tomar un puño de la mezcla y presionarlo, ésta no se desmorona fácilmente y tampoco hay un escurrimiento de agua, esto indica que la humedad está en un 40 o 60%.

Este procedimiento se sigue de la misma forma hasta que los materiales formen una pila de mínimo 50 cm de alto. Es importante que la pila no sobrepase los 150 cm de altura. Posteriormente se hace una **mezcla de los insumos** con ayuda de una pala, moviendo los materiales para integrarlos y homogenizarlos, y se cubre bien con otro plástico. Es importante considerar la temperatura de la mezcla, ésta se debe monitorear todos los días y no debe sobrepasar los 55 a 60°C para evitar pérdida de nutrientes. Por tal motivo se recomienda dar volteos a la mezcla diariamente por una semana, para dar aireación y permitir el enfriamiento. A partir de la segunda semana y de acuerdo a la temperatura del abono, se puede voltear cada dos días.

El bocashi se debe recolectar y utilizar en estado de madurez, que es cuando presenta las siguientes características: los materiales usados como originales desaparecen casi totalmente y el abono presenta un olor a tierra mojada; el nuevo material tiene una textura migajonosa y suelta, húmeda y con abundantes organismos vivos; el color cambia de negro a marrón oscuro.



Figura 9. Elaboración del bocashi en el Vivero Chimalxochipan de la FES-Zaragoza.

ANEXO 3. Análisis nutrimental del abono bocashi



UACH DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO



17 DE AGOSTO DE 2016.
No. DE OFICIO: 285

USUARIO: **CLAUDIA CECILIA BARRERA AGUILAR**

PROCEDENCIA: FES ZARAGOZA, VIVERO CHIMALXOCHIPA, DEL. IZTAPALAPA, CD. MÉX.

TIPO DE MUESTRA: SUELO (1 MUESTRA)

Nº CONTROL	pH	C. E. d Sm ⁻¹	MO %	N. Inorg. mg Kg ⁻¹	P mg Kg ⁻¹	K mg Kg ⁻¹	Ca mg Kg ⁻¹
1169	8.32	0.60	7.56	28.0	20.54	1098	4532

Nº CONTROL	Mg mg Kg ⁻¹	Fe mg Kg ⁻¹	Cu mg Kg ⁻¹	Zn mg Kg ⁻¹	Mn mg Kg ⁻¹	B mg Kg ⁻¹	Dens. Apar. g cm ⁻³
1169	1570	28.96	5.37	8.56	6.41	4.51	1.17

Nº CONTROL	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
1169	56.8	32.6	10.7	FRANCO-ARENOSO

METODOLOGIA:

pH: POTENCIOMETRICO, RELACION SUELO-AGUA, 1:2.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE): PUENTE DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN SUSPENSIÓN MUESTRA: AGUA, 1:2.

MATERIA ORGANICA (MO): WALKLEY Y BLACK.

NITROGENO INORGANICO (N. Inorg.): EXTRAIDO CON CLORURO DE POTASIO 2N Y DETERMINADO POR ARRASTRE DE VAPOR.

FOSFORO ASIMILABLE (P): OLSEN.

POTASIO (K): EXTRAIDO EN ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE EMISIÓN DE FLAMA.

CALCIO, MAGNESIO (Ca, Mg): EXTRAIDO CON ACETATO DE AMONIO 1.0 N, pH 7.0, RELACIÓN 1:20 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATOMICA.

HIERRO, COBRE, ZINC, MANGANESO (Fe, Cu, Zn, Mn): EXTRAIDO CON DTPA RELACIÓN 1:4 Y DETERMINADO POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA.

BORO (B): EXTRAIDO CON CaCl₂ 1.0M Y DETERMINADO POR FOTOCOLORIMETRIA CON AZOMETINA-H.

DENSIDAD APARENTE (DAP.): METODO DE LA PROBETA.

TEXTURA (TEX): HIDROMETRO DE BOUYOUCOS.

IDENTIFICACION:

1169: SIN DATOS DE LA MUESTRA.

ATENTAMENTE.

DR. EDMUNDO ROBLEDO SANTOYO
JEFE DEL LABORATORIO CENTRAL UNIVERSITARIO

ERSI *Angels*

Km. 38.5 Carretera Federal México –Texcoco, Chapingo, Méx., CP. 56230, Tel. (01 595) 95-2-16-36, (01 595) 2 1500 ext.6738, 6739 Y 6681
Correo electrónico: labcen.chapingo@gmail.com

ANEXO 4. Galería de fotos



Figura 10. Cama de cultivo.

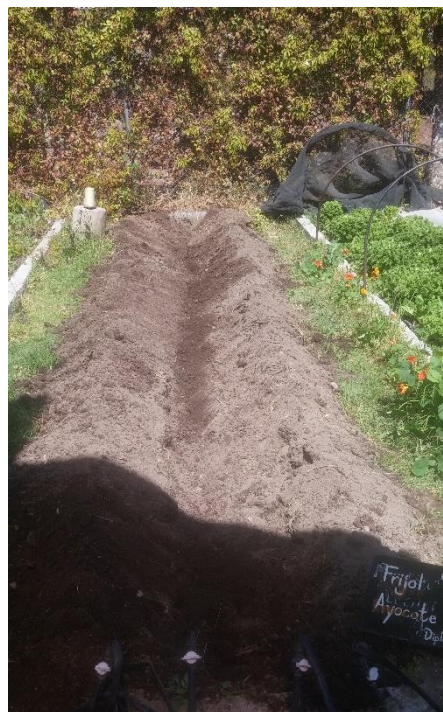


Figura 11. Adición del bocashi a la cama de cultivo.



Figura 12. Plántulas de lechuga en policultivo.



Figura 13. Plántulas de lechuga en monocultivo.



Figura 14. Abonado de lechugas con bocashi. A) Se movió la tierra superficial alrededor de la planta. B) Se agregó el abono alrededor de la planta. C) Se cubrió el abono con la tierra removida.



Figura 15. Venas centrales de hojas de lechuga.



[71] Figura 16. Lector de nitratos marca Horiba.



Figura 17. Monocultivo a los 105 dds.



Figura 18. Policultivo a los 105 dds.



Figura 19. Pesaje del vástago en báscula digital.



Figura 20. Lechugas frescas de mono y policultivo puestas a secar.



Figura 21. Lechugas frescas de mono y policultivo en proceso de desecación.



Figura 22. Pesaje de raíz en báscula digital.



Figura 23. Raíces de poli y monocultivo puestas a secar.