

Capacidad productiva de un fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos para el cultivo de lechuga

Productivity of organic fertilizer based on solid wastes for lettuce cultivation

Rooel Campos-Rodríguez¹, Angélica Torres-Contreras²,
Ana Gabriela Castro-Brenes³, Rubén Calderón-Cerdas⁴

Fecha de recepción: 12 de agosto, 2021
Fecha de aprobación: 24 de enero, 2022

Campos-Rodríguez, R; Torres-Contreras, A; Castro-Brenes, A.G; Calderón-Cerdas, R Capacidad productiva de un fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos sólidos para el cultivo de lechuga. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 1. Enero-Marzo, 2023. Pág. 3-17.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5823>

- 1 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: rocampos@tec.ac.cr
- 2 Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción.
Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: angelicatc19@gmail.com
- 3 Ingeniería en Agronegocios. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: gaby96cb@gmail.com
- 4 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: racalderon@tec.ac.cr

Palabras clave

Residuos sólidos biodegradables; Takakura; fertilización de lechuga; fertilización química.

Resumen

El aumento en la generación de residuos, como consecuencia del incremento poblacional, provoca la búsqueda de alternativas que permitan un manejo y disposición de los residuos. En esta investigación, se comparó la fertilización química y orgánica a partir de sustratos obtenidos de residuos sólidos de un centro educativo de secundaria para el cultivo de lechuga. Para la comparación de insumos químicos y orgánicos, se estableció un experimento segregados por tres tratamientos: orgánico, químico y un testigo sin fertilización. Durante un periodo de tiempo de siete semanas, se evaluó número de hojas, diámetro de la planta, diámetro del tallo altura de tallo, peso seco raíz, peso seco de lechuga, contenido relativo de agua (CRA) y el color. Como resultados, se obtuvo que ningún tratamiento presentó diferencias significativas ($p > 0,05$) para cada una de las variables evaluadas. Sugiriendo ello, que un fertilizante orgánico aplicado a una dosis que contemple los niveles de elementos en suelo y de las necesidades del cultivo, puede ser igualmente productivo que un sistema químico. Esto con la subsecuente disminución de gases de efecto invernadero y contaminación del agua, suelo y aire.

Keywords

Biodegradable solid waste; Takakura; lettuce fertilizer; chemical fertilization.

Abstract

The increase in the generation of waste, as a consequence of the population increase, provokes the search for alternatives that allow the management and disposal of waste. In this research, chemical and organic fertilization was compared from substrates obtained from solid waste from a secondary school for growing lettuce. For the comparison of chemical and organic inputs, an experiment segregated by three treatments is established: organic, chemical and a control without fertilization. During a period of seven weeks, the number of leaves, plant diameter, stem diameter, stem height, root dry weight, lettuce dry weight, relative water content (RCA) and the color. As results, it was obtained that no treatment presented significant differences ($p > 0.05$) for each of the variables evaluated. This suggests that an organic fertilizer applied at a dose that considers the levels of elements in the soil and the needs of the crop, can be equally productive as a chemical system. This with the subsequent decrease in greenhouse gases and pollution of water, soil and air.

Introducción

Alrededor de un 30 a 40% de los alimentos producidos a nivel mundial se pierde y desperdicia, causando impacto a nivel social, ambiental y económico. En el ámbito social, la problemática se debe a que no se aprovechan alimentos saludables y suficientes para la población que lo necesita. A nivel ambiental, se disponen de recursos como agua, tierra, suelo y energía para su producción y en relación con el aspecto económico, el problema se debe a los costos asociados y a la falta de percepción de ingresos [1].

De acuerdo con [2 y 3], si se mantiene el patrón de crecimiento poblacional, para el 2050, será necesario aumentar un 70% de la producción de alimentos a nivel mundial. El crecimiento poblacional exige una mayor cantidad de producción de alimentos, es importante que haya un equilibrio entre la producción agraria y el ambiente. Como parte de las acciones que ha

desarrollado Costa Rica, el 13 de julio de 2010, se aprobó la Ley 8839, la cual propone que ejecute una gestión integral de los residuos y un uso adecuado de los recursos a través de una planificación y acciones regulatorias, administrativas, financieras, operativas y ambientales [4]. Esta ley constituye una herramienta de apoyo, para tratar de resolver la problemática de los residuos sólidos que se generan en Costa Rica.

Entre las alternativas que permiten una mejor gestión ambiental, es importante considerar las estrategias de la economía circular y la jerarquía de gestión de residuos. Allí, se busca reducir las entradas a los procesos productivos y aprovechar los residuos que se deriven de las actividades [5]. La valorización de los residuos orgánicos, además de contribuir con la protección del ambiente también permite minimizar las especies en condición de plagas y disminuye las enfermedades en las plantas [6]. Un manejo adecuado de los residuos sólidos orgánicos, a través del compostaje es una alternativa viable, para el manejo de la fracción orgánica. La producción de alimentos bajo sistemas más sostenibles es un desafío para muchos productores, pues los fertilizantes sintéticos, son fáciles de adquirir, existe una gran cantidad de información con respecto al uso. No obstante, en algunas regiones, el uso excesivo de químicos ha generado un desequilibrio en el suelo, contaminación de aguas subterráneas y suelo, además de consecuencias en la salud de la población [7]. En el caso de los abonos orgánicos, estos actúan de forma más lenta e indirecta, pero ayudan a la estructura del suelo, mejoran la textura y además incrementa la capacidad para retener nutrientes, liberándolos de forma progresiva de acuerdo con la demanda de la planta [8]. De acuerdo con [9], en Costa Rica, la generación de residuos sólidos biodegradables es de alrededor de un 44 a 52% del total de residuos sólidos que se generan. El manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos representa un reto para las municipalidades y gobiernos locales. Si se disponen con los demás residuos, se da la presencia de insectos vectores de enfermedades, lixiviados, olores desagradables y gases de efecto invernadero, que causan daños inminentes al ambiente [6]. Evitar que se depositen residuos valorizables a rellenos sanitarios o vertederos, permite el desarrollo de una gran cantidad de alternativas y opciones de ingreso para una localidad. El compostaje de residuos sólidos biodegradables es una alternativa que permite estabilizar los residuos, además durante el proceso, se logran eliminar diferentes tipos de microorganismos patógenos y sustancias orgánicas tóxicas [10]. Por tanto, con el compostaje es posible el aprovechamiento de los nutrientes que poseen los residuos sólidos orgánicos, para utilizarlo en las actividades agrícolas.

El método de compostaje Takakura, es una alternativa que se puede adaptar a diferentes escenarios, los cuales pueden ser a nivel institucional, doméstico y comunitario. Esta técnica utiliza microorganismos fermentativos para la degradación del material orgánico, permite obtener el abono en poco tiempo, en espacios reducidos y además es seguro, económico y eficiente [11].

El objetivo de la presente investigación fue verificar que un fertilizante orgánico es capaz de igualar el rendimiento de la producción utilizando un insumo químico.

Metodología

El experimento tuvo un diseño de bloques completos al azar, tres tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental fue una parcela de lechuga de 1 m². Esta prueba fue realizada en el Campo de Prácticas Docentes e Investigaciones Agropecuarias del Instituto Tecnológico de Costa Rica, provincia de Cartago.

El experimento consistió en la siembra de plantas de lechuga con diferentes tipos de fertilización. Un tratamiento correspondió al uso de un fertilizante orgánico elaborado a partir de residuos orgánicos a través del proceso de compostaje Takakura. Un segundo tratamiento, fue un testigo absoluto. En este testigo absoluto, no se aplicó fertilizante y la fuente de nutrientes para la planta fue la propia fertilidad del suelo. El último de los tratamientos fue una formulación química.

Cabe destacar que previo a la siembra de las plantas, se realizó un análisis químico del suelo, esto con el objetivo de conocer la concentración de algunos nutrientes esenciales. El muestreo para el análisis de suelos se realizó 28 días previo a la siembra. Para el análisis se utilizó la solución extractora KCl-Olsen. Además, se realizó un análisis químico para conocer el contenido mineral del fertilizante Takakura. Posterior al análisis realizado al suelo y al abono Takakura, se elaboró un plan de fertilización, empatando para ello, los requerimientos del cultivo y la fertilidad del suelo.

La fertilización del cultivo se basó en un rendimiento esperado de 40 toneladas por hectárea. Para el fertilizante se utilizó un porcentaje de eficiencia de nitrógeno (60), fósforo (40), potasio (70), magnesio (75), azufre (50), calcio (75), boro (50) y zinc (50).

Se calculó en gramos, la cantidad de insumos químicos y abono orgánico Takakura en cada tratamiento. En el caso de la fertilización química se empleó 9,77 gramos por planta, los insumos que se emplearon para lograr la fórmula requerida fueron 15-3-31, 18-5-15, 10-30-10 y nitrato de calcio. En cuanto al abono orgánico Takakura se utilizó 159 gramos por planta.

Variables

Se evaluó el número de hojas de manera semanal. Para ello, se realizó un conteo de las hojas visibles por planta. El conteo se hizo en nueve plantas por cada unidad experimental. Estas plantas fueron seleccionadas al azar. También, para estas mismas 9 plantas se midió el diámetro en dos puntos de la planta, en dos sentidos, uno ecuatorial y otro meridional. Los valores fueron expresados en centímetros, para obtener el valor final. Adicional a ello, se midió el diámetro del tallo, justo en la base del mismo.

Se evaluó el Contenido Relativo de Agua (CRA), este se determinó al momento de cosecha, donde se obtuvo el peso fresco (PF). Luego, se colocaron las lechugas en una bolsa plástica, a las cuales se les colocó papel absorbente húmedo en el fondo, para posteriormente, colocarlas en una hielera que contenía hielo en el fondo. Este proceso se llevó a cabo por un periodo de dos horas, de esta forma se obtuvo el peso túrgido (PT). Finalmente, para obtener el peso seco (PS), se colocó las muestras en una estufa por 80°C durante 72 horas, luego se ubicaron en una balanza de precisión, con una incertidumbre de 0,01 g. El cálculo del contenido relativo de agua se obtuvo a través de la siguiente ecuación.

$$CRA = \frac{PF - PS}{PT - PS} \times 100$$

Fórmula 1. Contenido Relativo de Agua (CRA).

Además, se midió el peso de las raíces. Para ello, se extrajo la raíz a una profundidad de 10 cm, se utilizó un barreno el cual se colocó a una inclinación de 30°. Luego, se colocó la muestra en un colador y se lavó para eliminar el suelo y que quedaran las raíces. Posteriormente, se pesó

en una balanza de precisión, con una incertidumbre de 0,01 g. Para obtener el peso seco, se colocó la raíz en una estufa por 80°C durante 24 horas, se pesó en una balanza analítica, con una incertidumbre de 0,001 g.

Para tomar el dato de la altura del tallo, se dividió la planta en dos y se procedió a colocar medir desde la base del tallo hasta al ápice vegetativo de la planta.

Una variable importante en el experimento fue la compactación del suelo. La teoría sugiere que la materia orgánica confiere una disminución a la densidad aparente del suelo. Para determinar la compactación del suelo, se utilizó un penetrómetro marca DICKEY - John, el cual se insertó al suelo con una presión de 7,03 kgf/cm². La profundidad que alcanzó el instrumento se consideró como el nivel de compactación que tenía ese suelo. Se utilizó una cinta métrica para medir la profundidad de la penetración, y así obtener el dato de compactación. En este caso, por tratamiento se tomaron nueve datos por unidad experimental.

Finalmente, se valoró la coloración de las plantas, se utilizó una escala pictórica con valores del 1 al 5, desde amarillo a verde oscuro respectivamente. Para determinar el color de las lechugas en cada uno de los tratamientos, se consideró la opinión de cinco personas seleccionadas al azar quienes fungieron como panelistas, se les brindó una matriz con un patrón para que aplicaran la escala de Likert y de esa forma se evaluar el color para los diferentes tratamientos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Patrón utilizado para la aplicación de la escala Likert en la medición del color de las lechugas evaluadas por tratamiento

Escala	Puntuación máxima	Intervalo	Tonalidad
5	25	21 a 25	verde oscuro
4	20	16 a 15	verde claro
3	15	11 a 15	verde amarillento
2	10	6 a 10	verde amarillo
1	5	1 a 5	Amarillo

Fuente: [12].

La cantidad de plantas consideradas en el estudio fueron 17 por cada tratamiento. A cada uno de los participantes se les brindó un documento que mostraba la escala de color y el patrón utilizado para la evaluación. Las labores descritas anteriormente, se llevaron a cabo el día de cosecha.

Resultados y discusión

El resultado del análisis químico realizado mostró que el pH del suelo obtuvo un valor de 5,8. Según [27], el valor óptimo para el crecimiento de plantas esta entre 5,7-6,5, por lo que el resultado obtenido se encuentra dentro de límite aceptable. En cuanto a la acidez intercambiable, el resultado del estudio de suelo fue de 0,2 Cmol (+) /L. Para [39], el valor óptimo de acidez intercambiable debe ser menor a 0,3 Cmol (+) /L, valores más altos pueden ocasionar problemas moderados de crecimiento. El porcentaje de saturación de acidez (%SA), reportado fue de 2, según lo mencionado por [39], cuando el %SA es menor a 10 se considera óptimo. En cuanto al contenido de bases intercambiables, se obtuvo que la suma de bases tuvo un valor de 9,39 Cmol (+) /L. Entre mayor sea el valor de Ca, K y Mg, existe mayor fertilidad en el suelo. Además, la suma de las bases menor a 5 Cmol (+) /L es considera baja.

En el caso del estudio la suma de bases fue mayor a 5 Cmol (+) /L [40]. De este parámetro se afirma que los cuatro análisis realizados, se encuentran dentro de los parámetros considerados como una adecuada fertilidad, por lo que esto confirma que las plantas de lechuga tuvieron la disponibilidad adecuada de nutrientes que les permitió un desarrollo óptimo.

En cuanto a las relaciones catiónicas, los parámetros utilizados para la interpretación de los datos fueron los que sugiere [41]. Los valores obtenidos en este estudio fueron los siguientes: Ca/Mg: 2,79, dicho valor al ser mayor que 2 está catalogado como ideal. En cuanto a la relación Ca/K, el valor fue de 7,80 y al ser menor que 30 indica que es adecuado. Mg/K con un valor obtenido de 2,80 sugiere que es aceptable ya que está dentro del parámetro de 1-3. Finalmente, la relación (Ca+Mg) /K obtuvo un valor de 10,59, que indica que es adecuado. Por lo que, en este aspecto todas las relaciones catiónicas estuvieron dentro de los límites aceptados para un adecuado desarrollo del cultivo.

El nivel de fósforo en el suelo presentó un valor muy alto con 65 mg/L que equivale a 130 kg/ha, teniendo en cuenta la extracción del cultivo de lechuga, se tuvo que la cantidad que posee el suelo es suficiente para abastecer 8 veces un cultivo. Por otra parte, el K, Mg y Ca, también presentaron valores superiores a los requeridos, en el caso del Ca se tuvo un valor de 2480 kg/ha, que representó 12 veces más. El Mg tuvo un valor de 528 kg/ha, que significó 49,35 veces más de la extracción del cultivo. El valor de K fue de 616 kg/ha, lo que representó 3,85 veces más.

Los valores obtenidos fueron los siguientes para otros elementos como el Fe fue de 51 mg/L, Cu: 7 mg/L, Zn: 4 mg/L y Mn: 32 mg/L. De acuerdo con [42], los límites óptimos para los elementos anteriores son: Fe:10-100 mg/L, Cu: 2-20 mg/L, Zn: 2-10mg/L y Mn: 5-50 mg/L. Por lo tanto, los elementos hierro, cobre, zinc y manganeso, se encontraron dentro del parámetro establecidos como óptimos.

Condiciones climáticas durante el ensayo

Las condiciones agroclimáticas, presentadas durante el desarrollo del cultivo, contribuyeron con el crecimiento de las lechugas. La temperatura mínima promedio durante los 49 días del cultivo fue de 16°C y la máxima de 23°C, según la temperatura mínima debe estar entre 15-18 °C y la máxima en 18-24°C, por lo tanto, la temperatura estuvo dentro de los valores óptimos. La humedad relativa en promedio estuvo entre 68-73%, se considera como ideal valores entre 60-80% [43].

Número de hojas

La variable de número de hojas no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p>0,05$). La cantidad de hojas aumentó cada semana y alcanzó un valor de 29 hojas por planta. La cantidad de hojas fue creciente.

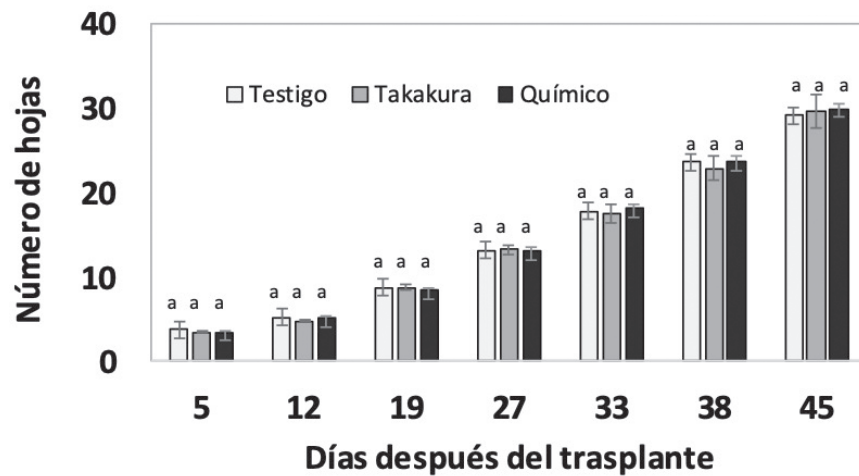


Figura 1. Número de hojas de las plantas de lechuga a lo largo de las 7 semanas del ensayo. Valores con la misma letra no poseen diferencias significativas (n=27)

Como se muestra en la figura 1, el número de hojas al momento de la cosecha fue de 29,2 para el tratamiento testigo, 29,6 para Takakura y 29,9 para el de fertilización química. Un estudio realizado por [13], halló 20 hojas de lechuga luego de 60 días posteriores a la siembra en tratamiento químico, así como 24 hojas por planta en tratamiento orgánico. Además [14], en un estudio realizado a campo abierto utilizando un tratamiento testigo y diferentes concentraciones de estiércol de lombriz, encontró valores para el número de hojas por planta que van desde 9,98 (testigo) hasta 27,1 utilizando 174 gramos de estiércol de lombriz. Por tanto, la cantidad de hojas por planta obtenidas en esta investigación evidencia que, el valor fue superior a otras investigaciones similares realizadas. El número de hojas demuestra que, las plantas de los tres tratamientos tuvieron un adecuado suministro de nutrientes que permitió un óptimo crecimiento.

Diámetro de la planta

El diámetro de la planta no mostró diferencias entre los tratamientos. No obstante, la variable sí presentó un aumento desde el día 5 hasta el 45. En promedio los valores obtenidos al momento de la cosecha fueron: testigo con 23,8 cm, Takakura 25,8 cm y químico con un valor de 26, cm (figura 2). El dato más alto se obtuvo, el día 45 con el tratamiento Takakura con un valor de 31,4 cm.

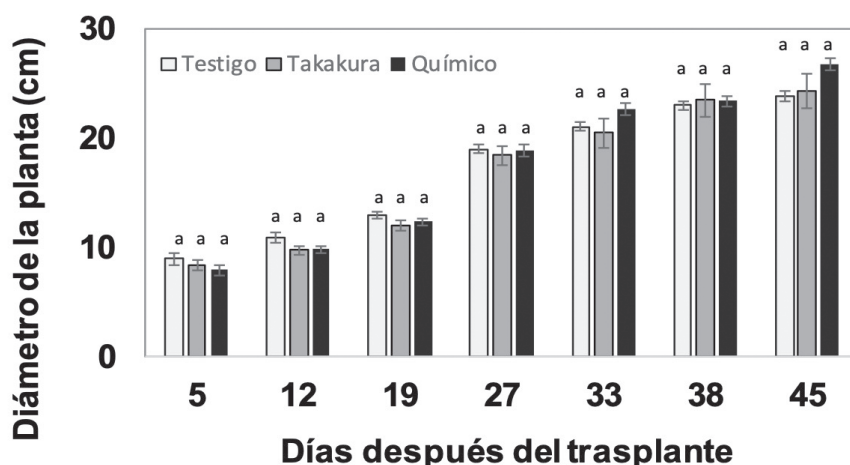


Figura 2. Diámetro de las plantas creciendo con diferentes fuentes de fertilizantes. Valores con la misma letra no poseen diferencias significativas (n=27).

De acuerdo con [15], en una evaluación realizada en San Carlos utilizando diferentes variedades de lechuga americana, en campo abierto con fertilización química, se encontró que en promedio al momento de la cosecha el diámetro fue de 25,1 cm. En otra investigación realizada por [16], obtuvo resultados que van de los 17,07 cm en campo abierto hasta los 20,33 cm con sistema de macrotúneles y fertilizantes químicos. Otro estudio realizado bajo ambiente controlado con fertilización química muestra datos que van desde los 34,7 a 41,5 cm [17]. Los datos obtenidos en este estudio coinciden con otras investigaciones que se desarrollaron a campo abierto. No obstante, los que se realizaron bajo un sistema de ambiente protegido, mostraron datos más altos que los de esta investigación. Puede deberse a diversos factores entre los que destaca los ambientales. De acuerdo con [16], en el caso del cultivo a campo abierto, la humedad relativa suele estar entre valores de 70 a 80% y en ambiente protegido entre 45 a 55% y sugieren que cuando la humedad del aire es alta, la planta tiene una menor transpiración y esto reduce el transporte de los nutrientes de las raíces a las hojas.

Diámetro del tallo

En relación con el diámetro del tallo, se observa en la figura 3, que entre los diferentes días en que se realizó las mediciones, si se observa un crecimiento de forma exponencial entre un día y otro después del trasplante. Sin embargo, entre cada día evaluado no se encontró diferencias estadísticamente significativas. El día 45, correspondiente a la cosecha, los promedios del diámetro del tallo fueron: tratamiento testigo 2,86 cm, Takakura 3,10 cm y fertilización química 3,06 cm.

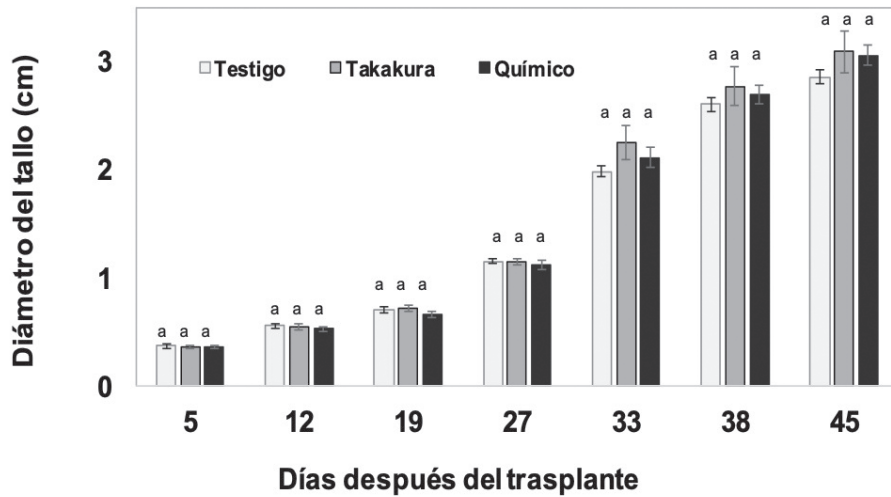


Figura 3. Diámetro del tallo. Valores con la misma letra no poseen diferencias significativas (n=27).

Los datos obtenidos en esta investigación difieren a los que se generaron por [13], ya que, a los 45 días los autores hallaron que el dato promedio del diámetro del tallo para el tratamiento testigo fue de 3 cm, con insumos orgánicos 5,5 cm y con fertilización química 5 cm. De acuerdo con [18], las diferencias de diámetro de tallo se relacionan con la densidad de siembra. En el caso del presente estudio, todas las unidades experimentales tuvieron la misma densidad de siembra. Esto se evidencia con la evaluación estadística realizada, que comprueba que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Contenido Relativo de Agua

El contenido relativo de agua no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). Como se muestra en la figura 4, los datos reportados en promedio por tratamiento fueron: testigo 95%, Takakura 97% y químico 95%.

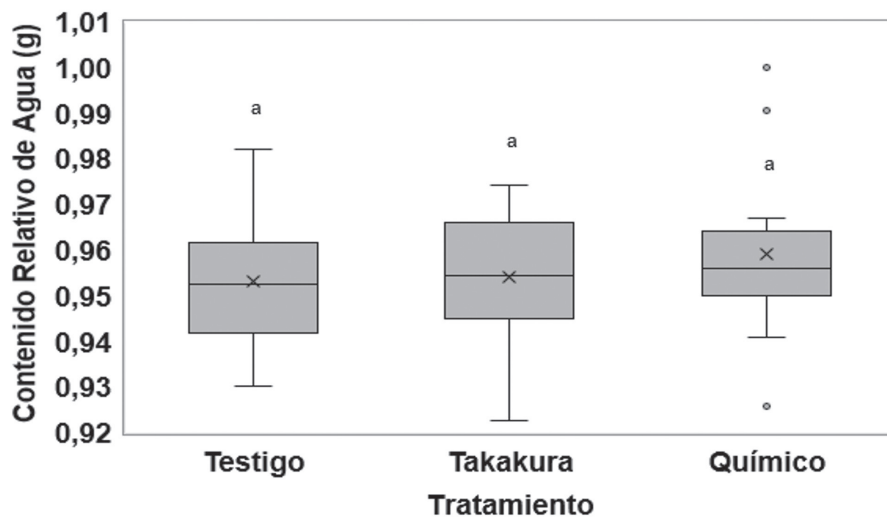


Figura 4. Contenido relativo de agua en las plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Valores con la misma letra no poseen diferencias significativo (n=27).

Según [19], encontraron que un cultivo con un adecuado riego, el CRA rondó el 92,1%, mientras que, bajo condiciones de estrés, el valor fue de 66,7%. Por otra parte, en una evaluación del contenido relativo de agua en función del estrés hídrico, realizada por [20], mencionan que el CRA disminuyó cuando hubo déficit de agua. En esta investigación, el cultivo nunca presentó sequía, pues el período en el que se desarrolló correspondió a la época lluviosa del país. Además, al momento de la cosecha, no se evidenció marchitamiento ni otros síntomas visibles relacionados con déficit hídrico. Los altos valores de CRA obtenidos en este estudio, muestran una menor pérdida de agua de las estomas y/o una mayor absorción de agua por las raíces de las plantas [20].

Peso seco lechuga y raíz

En relación con el peso de la lechuga y la raíz, no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. En el peso seco de la lechuga, el promedio del tratamiento testigo reportó el valor de 11,44 gramos, Takakura 11,60 gramos y finalmente con fertilización química se obtuvo 12,63 gramos. El dato más alto y el más bajo reportado, se obtuvo con el tratamiento Takakura, por lo que fue el que presentó la mayor dispersión (figura 5). En cuanto al peso seco raíz, los valores promedio de los tratamientos fueron: testigo 0,19 gramos, Takakura con 0,10 gramos y químico 0,16 gramos. En la figura 5 se observa que el valor más alto se registró con el tratamiento testigo y el dato más bajo con el Takakura. La relación entre las dos variables no fue directamente proporcional, ya que, en el caso del peso seco de la lechuga, el valor más alto se registró con el tratamiento químico, seguido del Takakura y luego el testigo. El valor promedio más alto de peso seco de raíz se obtuvo con el tratamiento testigo, seguido del químico y finalmente el de Takakura.

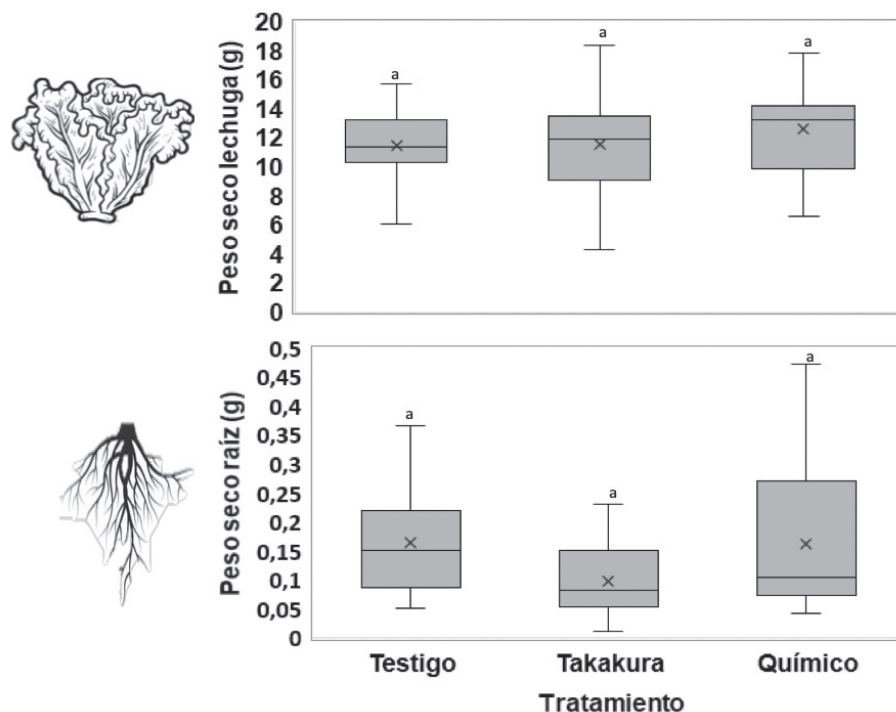


Figura 5. Peso seco lechuga (g) y peso seco raíz (g). Valores con la misma letra no poseen diferencias significativas.

Los valores promedios obtenidos en el peso seco de la lechuga difieren a los obtenidos por [13], en un estudio realizado para evaluar los efectos del crecimiento y el rendimiento de la lechuga, en condiciones de campo utilizando diferentes tipos de fertilización. El dato reportado por dichos autores a los 45 días, para el tratamiento testigo fue de 0,85 gramos, con insumos orgánicos 1,05 gramos y con fertilización química 1,05 gramos. La razón por la que se evidencia valores altos en esta variable se debe a que de acuerdo con [21], el peso seco de la lechuga es un parámetro predictivo de alta disponibilidad de nutrientes para las plantas. Es decir, que en esta investigación el cultivo, tuvo los nutrientes disponibles, para un óptimo desarrollo. En lo referente al peso seco de la raíz, la razón por la que no se encontraron diferencias significativas, se relacionó con el tipo de suelo (arcilloso), que posee el lugar donde se desarrolló el estudio. Pues, de acuerdo con lo mencionado por [22], las plantas requieren de nutrientes minerales que adquieren del suelo en forma de iones y estos se encuentran disueltos en el agua y se absorben por medio de las raíces. El suelo arcilloso tiene una capacidad de intercambio catiónico considerado alto, por lo que las cargas son muy fuertes y la disponibilidad de iones es mayor [23]. Por tanto, los resultados obtenidos coinciden con el hecho de que el suelo contaba con todas las características necesarias para nutrir el cultivo de forma idónea.

Altura de tallo

Los valores obtenidos en promedio a los 45 días, para las alturas de tallo fueron los siguientes: testigo 4,58 cm, Takakura 5,29 cm y químico 4,94 cm. Los resultados derivados en esta investigación son mayores a los reportados por [24], donde el valor fue de 3,22 cm para un estudio realizado utilizando cinco variedades de lechuga americana con fertilización química y ambiente protegido. Otra investigación [25], sugiere que la altura del tallo se inhibe por la alta intensidad de la luz en zonas altas. El periodo en el que se llevó a cabo el estudio coincide con la época en que hubo una menor intensidad luminosa (mayo a noviembre) en el lugar donde se desarrolló el cultivo [26]. Por otra parte, [27] considera que la altitud máxima para que el cultivo de lechuga se desarrolle de forma óptima es hasta los 2800 msnm, la zona donde se cultivó la lechuga posee una altitud menor con 1360 msnm [28]. Por tanto, la altura de tallo no se vio afectado por factores abióticos y esto permitió el crecimiento del tallo de forma adecuada.

Compactación del suelo

Los valores de profundidad de compactación obtenidos en esta investigación no fueron significativos a nivel estadístico ($p > 0,05$). Los valores promedio fueron: tratamiento testigo 14,28 cm, Takakura 16,98 cm y fertilización química 14,28 cm. El valor más alto lo reportó el tratamiento Takakura con una profundidad máxima de 19,2 cm, mientras que el más bajo correspondió al químico con 10,5 cm (figura 6).

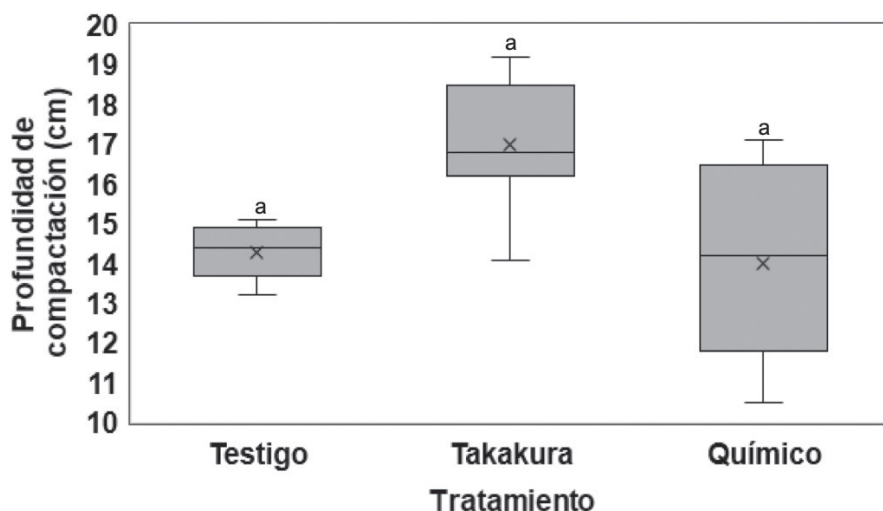


Figura 6. Profundidad de compactación. Valores con la misma letra no poseen diferencias significativo.

La razón por la que no hubo diferencias entre tratamientos se atribuye principalmente al tipo de suelo, porque de acuerdo con lo mencionado por [29], el tipo de suelo arcilloso posee tensiones capilares que forman grumos y por ende se dificulta la compactación.

Color

El análisis estadístico realizado a la determinación del color muestra que no hubo diferencias significativas en esta variable, para los diferentes tratamientos realizados. Los resultados promedio por tratamiento fueron: tratamiento testigo con 17,82 que corresponde a verde claro, Takakura con un valor de 21,17 catalogado como verde oscuro, finalmente el tratamiento químico con un valor de 21,06 que también se encuentra dentro de lo establecido como verde oscuro (figura 7).

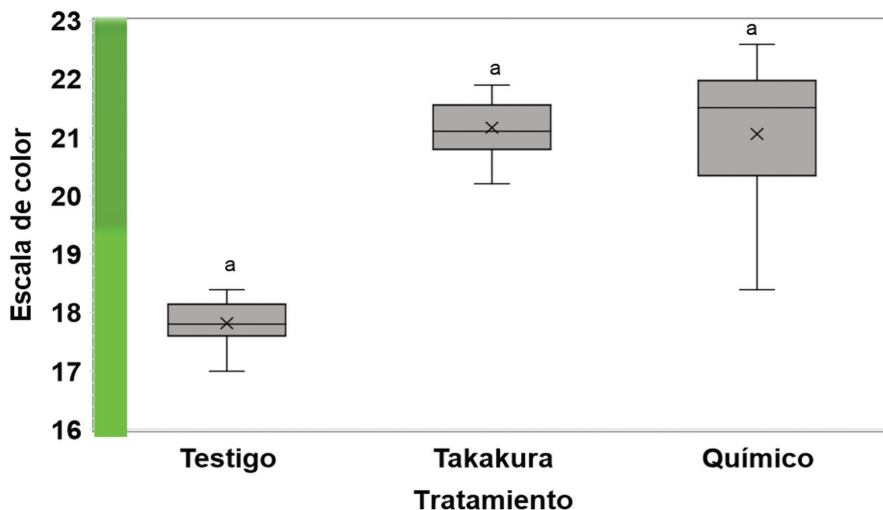


Figura 7. Evaluación de color. Valores con la misma letra no poseen diferencias significativo.

De acuerdo con [30], los grados de color verde de las hojas pueden variar desde claros a oscuros, se considera que cuando una lechuga posee color verde oscuro es de calidad. Asimismo, el alto contenido de color verde obtenido en el estudio demuestra que los tratamientos presentaron un alto contenido de clorofila [31] y que el proceso de fotosíntesis se llevó a cabo de forma óptima, ya que las lechugas lograron absorber suficiente energía lumínica que se evidenció a través del color de las plantas.

Conclusiones

Con un adecuado uso de los resultados de un análisis de suelo, su interpretación y la capacidad de generar un plan de fertilización, se puede lograr que un cultivo crezca de igual manera que con fertilización química. En general, un adecuado plan de fertilización, que siga los requerimientos nutricionales de los cultivos, permite disminuir el desperdicio de fertilizantes. Además, la producción de fertilizantes orgánicos a partir de residuos vegetales, es una clara opción para mitigar los altos precios de los fertilizantes químicos, promoviendo un uso cíclico de los recursos, una disminución de la huella de carbono y la emisión de gases de efecto invernadero. Los fertilizantes orgánicos proveen de nutrientes necesarios para el desarrollo de los cultivos.

Referencias

- [1] Organización mundial para la Alimentación y la Agricultura. El futuro de la alimentación y la agricultura: tendencias y desafíos. 2007. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>
- [2] Organización de las Naciones Unidas y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La agricultura mundial en la perspectiva del año 50. (2009) Obtenido de http://www.fao.org/filead-min/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf
- [3] Organización mundial para la Alimentación y la Agricultura. Mejora de la fertilidad del suelo. 2009 Obtenido de <https://www.iaea.org/es/temas/mejora-de-la-fertilidad-del-suelo>
- [4] Asamblea Legislativa. LEY PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS. Universidad de Costa Rica. 2010 Obtenido de https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68300&nValor3=83024&strTipM=TC#ddown
- [5] G, Wehenpohl, & C, Hernández. Guía para la Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales. En E. y. SEMANART. México: 1 ed. 2006.
- [6] MAGRAMA. Gestión de biorresiduos de competencia municipal. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 2013 Obtenido de http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/guia_mo_def_tcm7-285227.pdf
- [7] B, Añez, & W, Espinoza. Fertilización química y orgánica. Revista Forestal Venezolana, 46(2), 47-49. 2002. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/16b0/9524f84a0a276bea74a97b8079393cd83713.pdf>
- [8] Fundación MCCH. (2010). Fertilización orgánica. Fundación Maquita Cushunchic, Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/3061/fertilizacionmcch.pdf>
- [9] R. Campos-Rodríguez, L. P. Brenes-Peralta, y M. F. Jiménez-Morales, «Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras», TM, vol. 29, n.º 8, pp. pág. 25–32, dic. 2016.
- [10] A, Vilches, D, Pérez, J, Toscano, & O, Macías. Lucha contra la contaminación. Organización de Estados Iberoamericanos 2014.
- [11] IGES. Compostaje para la Reducción de Residuos. Institute for Global Environmental Strategies 2009. Obtenido de https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_low.pdf
- [12] RAMIREZ-RAMIREZ, Fiorella; CAMPOS-RODRIGUEZ, Roel; JIMENEZ-MORALES, María Fernanda and BRENES-PERALTA, Laura. Evaluación técnica, ambiental y económica de tres tipos de tratamiento para el cultivo de lechuga en huertas caseras de Guácimo, Limón, Costa Rica. Tecnología en Marcha [online]. 2016, vol.29, suppl.5, pp.14-24. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i8.2981>.

- [13] S, Islam, A, Ahmed,S, Mahmud, T, Tusher & S, Khanom. Effects of organic fertilizer on the growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) used as vegetables. *International Journal of Agricultural Science and Research* , 2(3), 116-128. 2012 Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/232321766_Effects_of_organic_fertilizer_on_the_growth_and_yield_of_lettuce_Lactuca_sativa_L_used_as_vegetables
- [14] V,Cali. Efecto del estiércol de lombriz en cuatro cultivares de lechuga. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Riobamba. 2011 Obtenido de <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/974/1/13T0719%20.pdf>
- [15] J, Vásques. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE CINCO VARIEDADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN TRES CICLOS DE SIEMBRA CONSECUTIVOS, EN SAN MIGUEL DE LA TIGRA, SAN CARLOS, ALAJUELA, C.R. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Agronomía, San Carlos. 2015 Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6469/evaluacion_agronomica_cinco_variedades_lechuga.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [16] P, Velázquez, H, Ruiz, G, Chavez y C, Luna. Productividad de Lechuga *Lactuca Sativa* en condiciones de Macrotúnel en suelo Vitric Haplustands. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 31(2): 93 – 105. 2016. Universidad de Nariño, Colombia.
- [17] J,Mota, J, Yuri,S, De Freitas &J, Rodríguez. Avaliação de cultivares de alface americana durante o verão em Santanada Vargem. *Horticultura Brasileira*, 21(2), 234-237. 2013.
- [18] J, Paredes, J. Evaluación de cuatro densidades de siembra en el rendimiento del cultivo de ají charapita (*Capsicum frutescens* L.) en el sector Almendras, provincia de Tocache. Universidad Nacional de San Martín Tarapoto, Facultad de Ciencias Agrarias, Tarapoto.2017. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3367/AGRONOM%C3%8DA%20-%20Jhonathan%20Jean%20Pierre%20Paredes%20Bautista.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [19] E,Bijanzadeh & Y, Emam. Effect of Defoliation and Drought Stress on Yield Components and Chlorophyll Content of Wheat. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(14), 699-705 .2010.
- [20] M,Salehpour, A.. Ebadi, M, Izadi & S,Jamaatie. Evaluation of Water Stress and Nitrogen Fertilizer Effects on Relative Water Content, Membrane Stability Index, Chlorophyll and Some Other Traits of Lentils (*Lens culinaris* L.) Under Hydroponics Conditions. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 103-109. 2009. Obtenido de <https://scialert.net/fulltextmobile/?doi=rjes.2009.103.109>
- [21] A,Knight. Z, Cheng. S, Grewal. K, Islam . M, Kleinhenz. & P, Grewal, P. Soil health as a predictor of lettuce productivity and quality: A case study of urban vacant lots. *Urban Ecosyst*, 16, 637-656. 2013.
- [22] B, Curtis. & M, Schnek. Movimiento de agua y minerales. Editorial Médica Panamericana.2007. Obtenido de <http://www.curtisbiologia.com/node/1739>
- [23] New South Wales. Cation exchange capacity. Gobierno de Nueva Gales del Sur, DEpartamento de Industrias Primarias, Australia.2016. Obtenido de <https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/soils/structure/cec>
- [24] J,Yuri. R, De Souza. S, De Freitas. J, Rodríguez. & J, Mota, J.Performance of crisphead lettuce cultivars in Boa Esperança Brazil. *Horticultura Brasileira*, 20(2), 229-232. 2002.
- [25] V, Kefeli. *Natural Plant Growth inhibitors and fitohormones*. 1978.
- [26] Weather spark. El clima promedio en Cartago.2019. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/16154/Clima-promedio-en-Cartago-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [27] E, Ávila. *Manual de lechuga*. Cámara de Comercio de Bogotá, Bogotá.2015.
- [28] Instituto Meteorológico (IMN) de Costa Rica. Estación Automática del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Instituto Meteorológico de Costa Rica. 2019. Obtenido de <https://www.imn.ac.cr/especial/estacion-Cartago.html>
- [29] Universidad Nacional de Colombia. COMPACTACIÓN DE SUELOS. Universidad Nacional de Colombia.2012. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1864/15/cap14.pdf>
- [30] G, Saavedra. *Manual de producción de lechuga*. Instituto de Desarrollo Agropecuario - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile.2017. Obtenido de <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/09%20Manual%20Lechuga.pdf>
- [31] E, Manrique, E. Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Ecosistemas*, 7(1), 1-11.2003. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/540/54012108.pdf>
- [32] A, Bakhsh. R; Kanwar. y D, Karlen. Effects of liquid swine manure applications on NO₃-N leaching losses to subsurface drainage water from loamy soils in Iowa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol 10. Pag. 118-128. 2005 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.018>

- [33] F, Shaxson. & R, Barber, R. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de Plantas. 2005 Obtenido de <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s07.htm>
- [34] C, Sierra. Factores que afectan la interpretación de los análisis de suelo. 2016. Obtenido de <http://www.elmercurio.com/campo/noticias/redes/2014/09/25/analisis-de-suelo.aspx>
- [35] J, Ibáñez. & J, Cosio. Vertisoles. 2011 Obtenido de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/10/06/140062>
- [36] R, Goldy. What is your soil cation exchange capacity? Michigan State University Extension 2011. . Obtenido de https://www.canr.msu.edu/news/what_is_your_soil_cation_exchange_capacity
- [37] S, Guy. CATION EXCHANGE CAPACITY OF SOILS. 2018 Obtenido de <https://www.smart-fertilizer.com/articles/Cation-Exchange-Capacity>
- [38] P, Hazelton. & B, Murphy. What Do All the Numbers Mean? - A Guide to the Interpretation of Soil Test Results. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 2007. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/316774959_Hazelton_PA_and_Murphy_BW_2007_'What_Do_All_the_Numbers_Mean_-_A_Guide_to_the_Interpretation_of_Soil_Test_Results'_CSIRO_Publishing_Melbourne
- [39] E, Molina. ANÁLISIS DE SUELOS Y SU INTERPRETACIÓN. Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones Agronómicas. 2009.
- [40] E, Pérez, E. Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. Scielo, 14(29). 2013. Obtenido de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-24582013000300001
- [41] A, Moro. Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. 2015. Obtenido de <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>
- [42] INTA. LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL. 2019. Obtenido de <https://inta.gob.ar/servicios/analisis-de-suelos>
- [43] INTIA. GUIA DEL CULTIVO DE LECHUGA. Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias. 2012 Obtenido de <https://www.intiasa.es/repositorio/images/docs/GUIALECHUGA0.pdf>