



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**“EVALUACIÓN DE ZEOLITA Y CARBÓN ACTIVADO EN EL
CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. Avenger) EN LA
GRANJA LA PRADERA, CANTÓN ANTONIO ANTE, PROVINCIA
DE IMBABURA”**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

AUTORA:

Vilema Vilema Brijida Magdalena

DIRECTOR:

MSc. Basantes Fernando

Ibarra, Junio del 2017

Hoja de vida



Nombres: Vilema Vilema Bríjida Magdalena

Fecha de nacimiento: 02 de Julio de 1994

Teléfono celular: 0992799885

Teléfono convencional: 062632525

Correo electrónico: brimagvi@gmail.com

Revisión bibliográfica

VILEMA VILEMA BRÍJIDA MAGDALENA. Evaluación de zeolita y carbón activado en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var. Avenger) en la granja La Pradera, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura. TESIS DE GRADO. Ingeniera Agropecuaria. Director Fernando Basantes MSc. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ecuador, Junio 2017.

Resumen

Mediante un arreglo factorial completamente al azar se establecieron cinco tratamientos con tres repeticiones cada una, en donde se evaluó a la zeolita y carbón activado con dos dosis en sustitución parcial del fertilizante químico al 20 y 40% respectivamente, el testigo consistió en 100% de fertilización química. A través del análisis estadístico se determinó que no existe diferencia significativa (5%) entre tratamientos en las variables altura, diámetro de pella y rendimiento, las pellas cosechadas se categorizaron en tres categorías (<250; 250-500:>500 g), en el T2 (Zeolita 20%) y T5 (Carbón activado 40%) se registró mayor número de pellas de categoría dos que son de interés agroindustrial. A nivel de suelo todos los tratamientos presentaron altas cantidades de Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} , en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico no hubo respuesta significativa. Al final de la investigación se concluye que a pesar de que a los tratamientos a los que se aplicó un 20 y 40 % menos de fertilización no se evidenció diferencia estadística en rendimiento respecto al tratamiento testigo, corroborando que la zeolita y el carbón activado poseen características benéficas para la agricultura.

Palabras clave: nutrientes, biochar, cliptonilolita, Avenger



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Carrera de Ingeniería Agropecuaria



Evaluación de Zeolita y Carbón Activado en el cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* var Avenger) en la Granja la Pradera, cantón Antonio Ante, provincia de Imbabura.

Basantes, Fernando; Gómez, Miguel; Vásquez, Lucía; Jácome, Alexandra; Vilema, Bríjida

Resumen

Mediante un arreglo factorial completamente al azar se establecieron cinco tratamientos con tres repeticiones cada una, en donde se evaluó a la zeolita y carbón activado con dos dosis en sustitución parcial del fertilizante químico al 20 y 40% respectivamente, el testigo consistió en 100% de fertilización química. A través del análisis estadístico se determinó que no existe diferencia significativa (5%) entre tratamientos en las variables altura, diámetro de pella y rendimiento, las pellas cosechadas se categorizaron en tres categorías (<250; 250-500;>500 g), en el T2 (Zeolita 20%) y T5 (Carbón activado 40%) se registró mayor número de pellas de categoría dos que son de interés agroindustrial. A nivel de suelo todos los tratamientos presentaron altas cantidades de Ca^{++} , Mg^{++} y Na^{+} , en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico no hubo respuesta significativa. Al final de la investigación se concluye que a pesar de que a los tratamientos a los que se aplicó un 20 y 40 % menos de fertilización no se evidenció diferencia estadística en rendimiento respecto al tratamiento testigo, corroborando que la zeolita y el carbón activado poseen características benéficas para la agricultura.

Palabras clave: nutrientes, biochar, cliptonilolita, Avenger

Abstract

Five treatments with three replicates were established using a completely random factorial arrangement, where zeolite and activated carbon were evaluated with two doses in partial substitution of the chemical fertilizer at 20 and 40% respectively, the control consisted of 100% of Chemical fertilization. Statistical analysis showed that there was no significant difference (5%) between treatments in the variables height, pella diameter and yield, harvested pellets were categorized into three categories (<250; 250-500;> 500 g) In the T2 (Zeolite 20%) and T5 (Activated Charcoal 40%) was registered more number of pellets of category two that are of agroindustrial interest. At the soil level, all treatments had high amounts of Ca^{++} , Mg^{++} and Na^{+} , as for the cation exchange capacity there was no significant response. At the end of the research, it is concluded that, despite the fact that treatments with 20% and 40% less fertilization were not statistically different in performance than the control treatment, corroborating that zeolite and activated carbon have characteristics Beneficial for agriculture.

Keywords: Alkaline soil, nutrients, biochar, cliptonilolite, Avenger

INTRODUCCIÓN

El brócoli es un cultivo de gran importancia no solo por ser poseer propiedades anticancerígenas (Figueiredo, Filho,

Nogueira-Machado & Caligiorne, 2013), sino también por ser un producto de exportación. En el año 2014 el país

aumento su producción en un 59,59% respecto al año 2013, de la misma manera las exportaciones aumentaron (MAGAP, 2014). Este cultivar es demandante en fertilización; la cantidad extraída es de 243,9 kg/ha de N; 28,7 kg/ha de P; 240,9 kg/ha de K; 221,3 kg/ha de Ca y 23 kg/ha de Mg [3]. La pérdida de nutrientes en el suelo es alta, hasta el 50 y 70% de elementos suministrados salen del sistema suelo en los lixiviados antes de ser aprovechados por las plantas (Rincón, Sáez, Pérez, Gómez y Pellicer, 1999). La cliptonilolita y el carbón activado han sido objeto de estudios para mitigar efectos contaminantes en la agricultura. La cliptonilolita o zeolita está formada por tetraedros de aluminosilicatos cristalinos, que tiene exceso de carga negativa para así ser compensados con los cationes, para luego ser intercambiados por iones de la solución del suelo (CIC) (Malesio, Ramírez, Ceja, Gómez y Bueno, 2013). El carbón activado es un mineral compuesto por carbono, el cual es activado químicamente para obtener una gran superficie interna (Rodríguez y Molina, s/f.). Estos dos minerales tienen características similares, tales como aumentar la capacidad de intercambio catiónico, adsorción de nutrientes, dosificación de los mismos, para ser aprovechados por las plantas (Liang et al., 2015; Montes et al., 2015).

La capacidad de incrementar la Capacidad de Intercambio Catiónico de estos dos compuestos, hace que sean de suma importancia, ya que la CIC influye en las características físicas, químicas y de fertilidad de los suelos (Hang, s/f.). Además, las clases de cationes presentes en el complejo de intercambio también afectan el pH de la solución del suelo de tal manera que si en el suelo están presentes arcillas sódicas se considera alcalino, pero si hay una arcilla hidrogenada se considera ácido (Valencia, s/f.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Granja La Pradera, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura, ubicado a 2340 msnm, con un suelo franco arenoso (Proaño, 2007), y un pH promedio de 7,6 (LABONORT, 2016). El diseño experimental fue un Diseño Completa de Azar (DCA), con tres repeticiones y cinco tratamiento; T1 (testigo), T2 (Zeolita 20%), T3 (Zeolita 40%), T4 (Carbón activado 20%) y T5 (Carbón activado 40%), estos se aplicaron al suelo conjuntamente con fertilizante químico (18-46-0, urea, sulfato de potasio) en sustitución parcial.

El área experimental estaba conformada por 15 unidades experimentales, cada una de 9m² se hicieron camas de 3x0,80 m² y se sembraron 40 plántulas de brócoli variedad Avenger por tratamiento a una distancia de 0,3x0,5 m, tomando el efecto borde en cuenta se tomaron datos de 20 plantas netas. El área total del lugar donde se implementó el experimento fue de 170 m².

La dosificación se realizó por planta en dos etapas, la primera aplicación se la realizó como abonamiento de fondo en el momento del trasplante a una profundidad de 10 cm; se aplicó 2 g de 18-46-0 en el caso del testigo, para el T2 se aplicaron 1,6 g de 18-46-0 y 0,4 g de zeolita, para el T3 1,2 g de 18-46-0 y 0,8 g de zeolita, para el T4, 1,6 g de 18-46-0 y 0,4 g de carbón activado; y por ultimo para el T5 se aplicaron 1,2 g de 18-46-0 y 0,8 g de carbón activado. La siguiente aplicación se realizó a los 45 días después del trasplante, en media luna, de la siguiente manera; para el T1, 6 g de urea y 4 gr de sulfato de potasio, para el T2, 6 g de urea, 2 g de sulfato de potasio y 2 g de zeolita, para el T3, 4 g de urea, 2 g de sulfato de potasio y 4 g de zeolita, para el T4, 6 g de urea, 2 g de sulfato de potasio y 2 g de carbón activado, y por ultimo para el T5, 4 g de urea, 2 g de sulfato de potasio y 4 g de carbón activado.

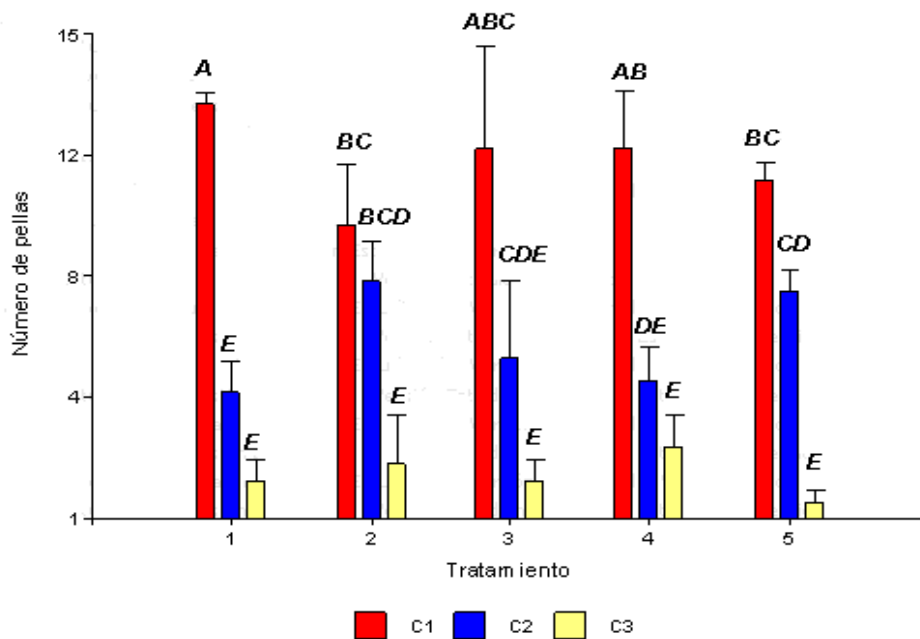
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables en estudio fueron, altura de la planta a los 31, 61 y 79 días después del trasplante, diámetro de pella, número de pellas, rendimiento, análisis económico mediante el presupuesto parcial del CIMMYT, análisis de suelo y foliar. Los datos obtenidos se analizaron a través del paquete estadístico INFOSTAT versión libre 2016, los mismos que se presentan a continuación:

En cuanto a la variable altura, a los 31 días se observó que el T4 y T2 eran un poco más

altos que en el T5, a los 61 días, predominaba el T3, pero a los 79 días (15,71 cm) se estableció mediante el ADEVA que no existía diferencia significativa (5%) entre tratamientos con un coeficiente de variación de 10,12%, por lo que la zeolita o el carbón activado no influyeron en esa variable. Lo mismo sucedió en la variable diámetro de pella, con un promedio de 10,53 cm. Para evaluar la variable número de pellas y rendimiento se categorizó a las pellas según su peso quedando de la siguiente manera; Categoría uno pellas <250g; Categoría dos, pellas de entre 250 y 500g, y Categoría tres, pellas >500 g (Parra, 2012).

Figura 1.- Interacción entre tratamientos y categorías para la variable número de pellas según la Prueba Fisher (5%)



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

La Figura 2 muestra que interacción entre tratamiento y categoría para la variable número de pellas, la categoría uno es la que más abunda en todos los tratamientos, en cuanto a la categoría dos y tres son las que en menor cantidad se encuentran en el cultivo. El análisis de la variable

rendimiento arrojó datos de que no existe diferencia significativa entre tratamientos, de tal manera que se establece una nueva alternativa ecológica, corroborando la afirmación del autor Malesio et al. (2013), de que la aplicación de zeolita junto a un fertilizante reduce de un 20 a 40% la

cantidad necesaria del mismo, para un correcto desarrollo de la planta. De la misma manera Pandey (2016), menciona que el carbón activado disminuye el uso de fertilizantes sistémicos.

Se realizó el cálculo de aporte más lo que el laboratorio reportó de la cantidad de nutrientes en el suelo. Los tratamientos T1, T2 y T4 que iniciaron con un aporte promedio de 282 kg/ha de nitrógeno demostraron la teoría de varios autores que concuerdan en que el nitrógeno es un factor importante en cuanto al rendimiento de los cultivos (FAO, 1985; Navarro, S., & Navarro, 2003). A pesar de que los tratamientos antes mencionados tuvieron un mayor aporte de nitrógeno al inicio del cultivo no mostraron ser superiores a los tratamientos a los que se aplicó un 40 % menos de fertilización química, tal es el caso del T3 que en la categoría tres obtuvo un peso promedio de pella de 677,94 g demostrando que a pesar de tener menos fertilización muestra un peso promedio admitido en la industria.

Autores como Malesio, et al (2013) y Pillajo (2010) mencionan que la zeolita es capaz de evitar pérdidas de nutrientes por

lixiviación o volatilización, haciendo eficiente la aplicación de hasta un 40 % menos de fertilizantes químicos. Además menciona que este mineral mejora la nitrificación de suelo, facilita la solubilidad del P y la asimilación del K. Así mismo autores como Lianga et al., 2005; Pandey et al., 2016 y Lehmann et al., 2011 mencionan que el carbón activado o biochar participa en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, es un adsorbente universal, permite la disminución del uso de fertilizantes químicos y mejora la fertilidad de la tierra a largo plazo. Debido a tales afirmaciones es que se presume que aunque existió una disminución en la fertilización los tratamientos que tuvieron menor aporte de nitrógeno el cual es un factor importante en el rendimiento demostraron rendimientos admitidos en la industria.

En la Tabla 1 se observa la diferencia entre la pérdida, absorción e incremento de nutrientes de acuerdo a cada tratamiento.

Tabla 1.- diferencia entre el aporte inicial y lo que quedo en el suelo al inicio y al final del cultivo para cada tratamiento

Elementos	T1	T2	T3	T4	T5
Nitrógeno kg	-231,86	-252,37	-159,30	-244,05	-153,71
Fósforo kg	-81,04	-59,17	-17,30	-52,56	-73,19
Potasio kg	-139,12	-72,04	-76,99	-71,57	-60,34
Calcio kg	+42,24	+62,64	+66,24	+81,94	+60
Magnesio kg	+1,98	+2,16	+2,31	+4,32	+3,17
Sodio kg	+3,84	+1,68	+1,58	+1,65	+2,1
Ph	+0,07	+0,09	+0,27	+0,02	+0,21
CE mS/cm	-0,025	-0,036	-0,075	-0,039	-0,023
Ca/Mg	+0,33	+0,55	+0,55	+0,6	+0,46
Mg/K	+0,15	+0,32	+0,56	+0,37	+0,48
(Ca+Mg)/K	+1,54	+3,21	+4,05	+3,53	+3,70
CIC	+2,01	+2,76	+2,81	+3,72	+2,71

Nota: signo + significa incremento, signo – significa decremento.

La Tabla 1 muestra que el tratamiento testigo (T1) tiene mayor pérdida y absorción del Nitrógeno, a comparación de T5 (CA40%) que es en el que se aplicó

menos Nitrógeno y menos pérdida de N existe, en el Tratamiento testigo los nutrientes como P y K tiene mayor pérdida y absorción a comparación de los

tratamientos a los que se adicionó zeolita y carbón activado.

El análisis foliar realizado al final del cultivo, no evidencia deficiencias de nutrientes en ningún tratamiento, evidenciando que en el tratamiento testigo existió mayores pérdidas que a comparación de los otros tratamientos.

En todos los tratamientos existió un incremento del pH, el agua con alto contenido de sales puede llegar a incrementar el pH del suelo (Cepeda, 2009), el suelo se torna alcalino debido a que el movimiento del agua es hacia arriba de la zona de meteorización, por lo que predomina el ascenso capilar y evaporación con el movimiento de iones con el agua hacia arriba, dando como resultado que iones como Na^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , HCO_3 , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} y Cl^- , alcancen altas concentraciones (Zapata, 2004), es por esta razón también que el Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^+ , aumentaron en todos los tratamientos al final del ciclo del cultivo, de la misma manera lo hizo en pH del suelo.

En cuanto a la Capacidad de Intercambio Catiónico, la adición de zeolita y carbón activado no tuvieron influencia debido a que el suelo tenía altas cantidades de cationes de cambio debido al agua de riego. En todos los tratamientos subió un promedio de 2,80 meq/100 g respectivamente, este incremento fue ajeno a la adición de la zeolita y carbón activado.

Cabe recalcar que el rendimiento en esta investigación fue bajo (6,07 t/ha), debido a las condiciones agroclimáticas de lugar. Además la cosecha se realizó a los 79 días después del trasplante, adelantándose 4 días a la cosecha de otros investigadores que implementaron el cultivo a 2940 y 2600msnm, a una temperatura de 12 a 14°C, en un suelo ácido (6,10). Estas diferencias hicieron que el rendimiento se vea afectado, ya que la temperatura tiene

un efecto entre el rendimiento y la maduración del cultivo debido a que el incremento de la temperatura resulta en una producción temprana y en un descenso del rendimiento total (Palencia, Martínez, Medina y Medina, 2013).

CONCLUSIONES

- Mediante la aplicación de zeolita y carbón activado al 20 y 40 % de sustitución parcial al fertilizante químico aplicado al suelo en el cultivo de brócoli var. Avenger se determinó por medio del análisis estadístico de las variables estudiadas de que los tratamientos en comparación del testigo con 100 % de fertilización química no mostraron diferencias significativas a nivel del 5 %, mostrando que todos los tratamientos fueron iguales al testigo, evidenciando la eficiencia de la aplicación de zeolita y carbón activado en el cultivo.
- Con dosis de 106,67 kg/ha de zeolita (T2 zeolita 20 %) y 213,33 kg/ha de carbón activado (T5 carbón activado 40 %), se obtuvo mayor número de pellas de categoría dos (250-500 g) por hectárea, 8.888 y 8.518 inflorescencias respectivamente, a diferencia del tratamiento con 100 % de fertilización química en el que se cosecharon 5.185 pellas de categoría dos, que son de importancia agroindustrial. Cabe recalcar que anteriormente se mencionó que no existió diferencia estadística entre tratamientos pero a nivel numérico se evidencio una diferencia que evidencia que la producción mejora con la aplicación de las dosis descritas en esta investigación
- En lo que se refiere a aumento de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) no se evidenció diferencia en cuanto a tratamientos, debido a que al final del cultivo, los análisis de suelo realizados a cada tratamiento evidencian un ligero incremento ya que en todos los tratamientos existió un aumento de Ca^{+2} ,

Mg⁺⁺ y Na⁺, los mismos que forman parte de la Capacidad de Intercambio Catiónico.

- El rendimiento en esta investigación (6,17 t/ha) en comparación con el rendimiento establecido por el Sistema de Información Nacional de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca (19,24 t/ha) fue considerablemente menor, probablemente debido a las condiciones agroclimáticas del lugar, ya que la temperatura del ambiente influye en el rendimiento y en la precocidad del cultivo debido. El estrés térmico y lumínico afecta la tasa fotosintética de la planta causando que se gasten carbohidratos destinados a otras actividades de la planta como mantenimiento y producción.

- Mediante el presupuesto parcial del CIMMYT se establece que los tratamientos en los que se evidenció un mejor beneficio neto fueron el T2 (zeolita 20 %) con \$2.582,88 y el T3 (zeolita 40 %) con \$2.399,08 dólares. En cuanto a los tratamientos con carbón activado los beneficios netos fueron de \$2363,56 (T4) y \$2.221,45 (T5) siendo este último tratamiento en donde se obtuvo menor beneficio neto en comparación al T1 (testigo) en el que se obtuvo \$2307,40 debido a que el precio del carbón activado es 10 veces mayor que el de la zeolita.

RECOMENDACIONES

- Aplicar zeolita o carbón activado en suelos ácidos, debido a que en ese tipo de suelos existen pérdidas de cationes bases, por lo que la zeolita y el carbón activado pueden funcionar de mejor manera, adsorbiendo los cationes de intercambio y manteniéndolos en el sistema suelo-planta, así con la acumulación de cationes bases el suelo, el pH aumentará y se disminuirá el lavado de cationes.

- Continuar con la investigación para conocer que sucede con el carbón y la zeolita a través del tiempo, para

comprobar si sus funciones de dosificadores y retenedores tiene un efecto a largo o a corto plazo.

BIBLIOGRAFÍA

Cepeda, M. (2009). Química del Suelos.

Editorial Trillas. ISBN: 978-968-24-4032-8. México

Figueiredo, SM., Filho, SA., Nogueira-Machado, JA., & Caligiorne, RB. (2013). The anti-oxidant properties of isothiocyanates: a review. *Us. National Library of Medicine National Institutes of Health*. 7. (3). 213-22. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23978168>

Food and Agriculture Organization. (1985). Los fertilizantes y su uso. Pág. 8. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>

Hang, s. (s/f). El Complejo de Intercambio (CI) del suelo, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) Parte I.

LABONORT. (2016). Resultado de los análisis de suelo de cinco muestras recolectados en La Granja la Pradera, Cantón Antonio Ante, Provincia de Imbabura.

Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C., Hockaday, W., Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43 (9). 1812-1836. doi: 10.1016/j.soilbio.2011.04.022

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangia, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizão, F. J., Petersen, J., and Neves, E. G. (2005). Black Carbon Increases Cation Exchange Capacity in Soils. *Soil Science*

- Society of America Journal*. 70 (5). 1719-1730. doi: 10.2136/sssaj2005.0383.
- MAGAP. (2014). Boletín situacional Brócoli. Recuperado de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/hocadownloadpap/cultivo/2014/cboletin-situacional-brocoli-2014-actualizado.pdf>
- Malesio, R., Ramírez, M., Ceja, E., Gómez, P., y Bueno, A. (2013). Zeolita Natural; Alternativa Ecológica y Económica para la Agricultura de temporal en México. México.
- Montes, A., Fuentes, N., Perera, Y., Perez, O., Castruita, G., Garcia, S., y Garcia, M. (2015). Caracterización de clinoptilolita natural y modificada con Ca²⁺ por distintos métodos físico-químicos para su posible aplicación en procesos de separación de gases. *Sociedad mexicana de ciencia y tecnología de superficies y materiales*. 28(1). México.
- Navarro, S., & Navarro, G. (2003). Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal (2a. ed.). Madrid, ES: Mundi-Prensa. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Palencia, P., Martínez, F., Medina, J y Medina L. (2013). Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. *Horticultura Brasileira*. 31.(1). Recuperado de: [mhttp://www.scielo.br/pdf/hb/v31n1/v31n1a15.pdf](http://www.scielo.br/pdf/hb/v31n1/v31n1a15.pdf)
- Pandey, V., Patel, A., and Patra, D. (2016). Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ecological Engineering*. 90. 361-366. Elsevier. doi: 10.1016/j.ecoleng.2016.01.020
- Parra, C. (2012). Evaluación de la aclimatación y rendimiento de 20 cultivares de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica), a campo abierto en Guayllabamba, cantón Chambo, provincia de Chimborazo. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.
- Proaño, J., (2007), "Respuesta de Cuatro Variedades de Arveja (*Pisum sativum* L.) A la Fertilización Orgánica y Química en la Granja la Pradera", Chaltura-Ecuador. Tesis de Grado previo la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica del Norte
- Rincón, L., Sáez, J., Pérez, J., Gómez, M., Pellicer, C. (1999). Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Invest. Agr.:Prod. Prot. Veg.* 14(1-2). Murcia
- Rodríguez, R., y Molina, M. (s/f). El carbón activado en procesos de descontaminación. Universidad de Alicante. España
- Valencia, C. (s/f). Química de suelos. Recuperado de: <http://agricolaunam.org.mx/edafologia/PAPIME%20APUNTES%20QUIMICA%20DE%20SUELOS/Quimica%2008.pdf>
- Zapata, R. (2004.). Capítulo 2: Origen de la Acidez en el suelo. Química de la Acidez del suelo. Biblioteca de la Universidad Nacional de Colombia. Medellín- Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/3/9583367125.3.pdf>