



## **Departamento de Posgrados**

**Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como  
enmienda de suelo negro andino (Andosol)**

**Magister en Gestión Ambiental**

**AUTORA**

**Catalina Díaz Granda**

**DIRECTOR**

**Gustavo Chacón Vintimilla**

**CODIRECTORA**

**Lourdes Díaz Granda**

**Cuenca, Ecuador**

**2017**

## **DEDICATORIA**

Sin alguien que impulse mi vuelo, no hubiese podido llegar a esta nueva meta, por ello dedico este trabajo:

A la mujer que más admiro, mi madre Julia Granda,

A Diego mi esposo e inspiración,

A mis hermanas y hermanos, por sus ejemplos de vida y superación.

## AGRADECIMIENTOS

Las grandes caminatas empiezan por el primer paso, por ello agradezco a quienes me acompañaron y apoyaron, especialmente:

Al doctor Gustavo Chacón Vintimilla, Director de Posgrados de la Universidad del Azuay y director de la tesis.

A la ingeniera Lourdes Díaz Granda, Subdecana de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, por su apoyo y codirección de la investigación.

Al ingeniero Antonio Borrero Vega, Gerente General de la empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A. por el apoyo brindado para la realización de los análisis de suelos de ésta investigación.

Al señor Angel Uyaguari Cuenca, Presidente de la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Machángara, por facilitar el espacio para el desarrollo de la fase de campo de la investigación.

Al señor José Ucho Sumba, por su invaluable colaboración y paciencia durante la realización del trabajo de campo.

A todo el personal del Departamento de Posgrados, por su desinteresada colaboración.

A todos ustedes que Dios les pague por haber estado a mi lado durante esta larga caminata para la construcción de nuevo conocimiento.

## **RESUMEN**

En la cuenca del Machángara, se amplía la frontera agrícola para la producción alimentaria. Esta cuenca es muy importante como fuente de agua para la población cuencana, de allí que conservar sus ecosistemas es prioridad. El pino es una especie exótica, utilizada en plantaciones forestales. En la presente investigación se adicionó biochar obtenido de acícula de pino en andosoles locales, para ver si se incrementaba la producción de nabo y cebollín, por la modificación del pH. Cuando se utilizó 2 partes de biochar por 100 de suelo aumentó significativamente el crecimiento de cebollín, pero no de nabo, que presentó mejor crecimiento el tratamiento control.

## **PALABRAS CLAVE**

Biochar, acícula de pino, modificación de pH, andosol.

**ABSTRACT**

The agricultural frontier for food production is expanded throughout the Machángara river basin. This basin is a very important source of water for the population of Cuenca; thus, the conservation of its ecosystems is a priority. Pine is an exotic species used in forestry plantations. This investigation presents the addition of biochar obtained from pine needles to local andosols. The objective was to increase the production of turnip and scallion by pH modification. When 2 parts of biochar per 100 of soil were used, it was possible to observe a significant increase in scallion growth, but not in turnip growth.

**KEYWORDS:** biochar, pine needles, pH modification, andosols.



  
Translated by,  
Lic. Lourdes Crespo

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PALABRAS CLAVE .....</b>	<b>iv</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
- El biochar .....	4
- Aplicación de biochar .....	5
- Biochar como enmienda de suelo.....	8
<b>2. CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
<b>PRODUCCIÓN DE BIOCHAR DE ACÍCULA DE PINO .....</b>	<b>10</b>
<b>DESARROLLO EXPERIMENTAL: CULTIVO DE NABO Y CEBOLLÍN CON BIOCHAR.....</b>	<b>11</b>
- Recolección de suelo .....	11
- Especies vegetales .....	13
- Cebollín .....	14
- Trabajo de campo.....	14
- Diseño Experimental .....	14
- Montaje del Bioensayo.....	16
- Ensayo con cultivo de nabo .....	17
- Ensayo con cultivo de Cebollín .....	18
<b>3. CAPITULO 2: RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
- Análisis Estadístico del cultivo de Nabo .....	21
- Análisis Estadístico del cultivo de Cebollín .....	27
- Análisis estadístico del comportamiento del suelo .....	32
<b>4. CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN .....</b>	<b>39</b>
Productividad en el cultivo de Nabo .....	43
Productividad en el cultivo de Cebollín.....	44
<b>5. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de las raíces del maíz. a. Sin biocarbón. b. Con biocarbón. ....	6
Figura 2. Localización del área de estudio .....	10
Figura 3. Plantación de pino .....	11
Figura 4. Sitio de recolección.....	11
Figura 5. Secado de acícula .....	11
Figura 6. Acícula de pino .....	11
Figura 7. Horno de pirólisis .....	11
Figura 8. Biochar.....	11
Figura 9. Predio Alicia Bernal .....	12
Figura 10. Predio Zoilo Ochoa.....	12
Figura 11. Predio ELECAUSTRO S.A .....	12
Figura 12. Homogenización del suelo .....	12
Figura 13. Preparación de sustrato .....	17
Figura 14. Bloques al azar .....	17
Figura 15. Medición de altura .....	18
Figura 16. Bloque 4.....	18
Figura 17. Ensayo completo .....	18
Figura 18. Bulbo de Cebollín .....	18
Figura 19. Bulbo de Cebollín .....	18
Figura 20. Cultivo de cebollín con los diferentes tratamientos .....	19
Figura 21. Media de crecimiento parte aérea de planta de nabo por fecha y tratamiento.....	23
Figura 22. Variación de biomasa de pella de nabo por tratamiento y su respectiva desviación estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos. ....	24
Figura 23. Variación de largo de raíz de nabo por tratamiento .....	24
Figura 24. Variación de biomasa de raíz de nabo por tratamiento y su respectiva desviación estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos. ....	25
Figura 25. Variación de biomasa de total de Nabo para tratamientos con diferentes dosis de biochar B2 y B4 y el tratamiento control C, con sus respectivas desviaciones estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos. ....	26
Figura 26. Variación de altura de hoja de cebollín durante el ciclo vegetativo y sus respectivas barras de error con porcentaje.....	28
Figura 27. Variación de biomasa de hoja de Cebollín por tratamiento, con sus respectivas desviaciones estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos. ....	28
Figura 28. Variación de medias de biomasa seca de bulbo de Cebollín por tratamiento, con sus respectivas desviaciones estándar. ....	29
Figura 29. Variación de biomasa seca de raíz de Cebollín en dos tratamientos con diferentes dosis de biochar y el tratamiento control, con sus respectivas desviaciones estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos. ....	30
Figura 30. Variación de biomasa total de la planta de cebollín por tratamiento y su respectiva barras de error estándar. ....	30

Figura 31. Variabilidad de macollos de planta de cebollín por tratamiento.....	31
Figura 32. Variabilidad de pH del suelo en los diferentes tratamientos, antes del cultivo de nabo y luego de realizado el cultivo.....	31
Figura 33. Variación de pH del suelo en cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar y sus respectivas barras de error estándar. ....	32
Figura 34. Variación de pH del suelo en cultivo de cebollín, en los tratamientos B2 y B4 con diferentes dosis de biochar y el control .....	32
Figura 35. Variación de la conductividad eléctrica del suelo en dos tratamientos con diferentes dosis de biochar en comparación con el control C y sus respectivas barras de error .....	33
Figura 36. Variación de N por tratamiento, con sus respectivas barras de error .....	34
Figura 37. Variación de N en los tratamientos C, B2 y B4, luego del cultivo de nabo y cebollín .....	34
Figura 38. Variación de P por tratamientos, con sus respectivas barras de error .....	35
Figura 39. Variación de P en los tratamientos C, B2 y B4, luego del cultivo de nabo y cebollín .....	35
Figura 40. Variación de K por tratamiento con sus respectivas barras de error.....	36
Figura 41. Variación de K en los tratamientos C, B2 y B4, luego del cultivo de nabo y cebollín. ....	36
Figura 42. Variación de MO por tratamiento con sus respectivas barras de error.....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información climatológica .....	10
Tabla 2. Sitios de recolección de suelo .....	12
Tabla 3. Propiedades químicas y físicas del suelo.....	12
Tabla 4. Valor nutricional de 100 g de nabo repollo .....	13
Tabla 5. Composición de sustratos .....	14
Tabla 6. Diseño experimental para el cultivo de Nabo .....	15
Tabla 7. Diseño experimental para el cultivo de Cebollín .....	16
Tabla 8. Descripción de sustratos para el cultivo de nabo y cebollín.....	16
Tabla 9. Distribución del riego para el cultivo de nabo .....	17
Tabla 10. Distribución del riego para el cultivo de cebollín.....	19
Tabla 11. Propiedades químicas del biochar y los sustratos .....	20
Tabla 12. Esquema de ANOVA de un factor .....	20
Tabla 13. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de nabo a los 15 días de la siembra....	21
Tabla 24. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de nabo a los 30 días de la siembra....	21
Tabla 35. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de nabo a los 45 días de la siembra...21	21
Tabla 46. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de nabo a los 60 días de la siembra....	22
Tabla 17. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de nabo a los 75 días de la siembra....	22
Tabla 58. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de nabo a los 81 días de la siembra....	22
Tabla 19. Media de crecimiento de planta de nabo por fecha y tratamiento.....	23
Tabla 60. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa aérea de planta de nabo .....	23
Tabla 71. Esquema de ANOVA y Tukey para longitud de raíz de planta de nabo .....	24
Tabla 82. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa de raíz de planta de nabo .....	25
Tabla 93. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa total de planta de nabo.....	25
Tabla 104. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de planta de cebollín a 15 días de la siembra .....	26
Tabla 115. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de planta de cebollín a 30 días de la siembra .....	26
Tabla 126. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de planta de cebollín a 45 días de la siembra .....	27
Tabla 27. Esquema de ANOVA y Tukey para altura de planta de cebollín a 56 días de la siembra .....	27
Tabla 28. Media de altura de hoja de cebollín por tratamiento y fecha.....	27
Tabla 29. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa de hoja de cebollín .....	28
Tabla 130. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa de bulbo de cebollín.....	29
Tabla 141. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa de raíz de cebollín.....	29
Tabla 152. Esquema de ANOVA y Tukey para biomasa total de cebollín .....	30
Tabla 163. Esquema de ANOVA y Tukey para macollos de cebollín .....	31

Tabla 174. Esquema de ANOVA y Tukey para pH de suelo de cultivo de nabo .....	32
Tabla 185. Esquema de ANOVA y Tukey para Conductividad eléctrica.....	33
Tabla 36. Esquema de ANOVA y Tukey para N de suelo de cultivo de nabo .....	36
Tabla 37. Esquema de ANOVA y Tukey para P para suelo de cultivo de nabo .....	34
Tabla 38. Esquema de ANOVA y Tukey para K de suelo de cultivo de nabo.....	35
Tabla 38. Esquema de ANOVA y Tukey para MO de suelo de cultivo de nabo .....	36

Catalina Monserrat Díaz Granda  
Trabajo de graduación  
Dr. Gustavo Chacón Vintimilla  
Enero 2016

## **Uso de biochar de acícula de pino (*Pinus patula*) como enmienda de suelo negro andino (Andosol)**

### **1. INTRODUCCIÓN**

La degradación de los suelos en muchas regiones del mundo invita a pensar en estrategias de mejorarlo como una necesidad urgente para incrementar la productividad y así satisfacer la demanda de alimentos que día a día crece tanto a nivel mundial como en nuestro país (Escalanate 2015)

Para satisfacer esta demanda la agricultura debe enfrentarse a una serie de desafíos como la degradación y reducción de la fertilidad de los suelos, que actualmente es un fenómeno agravado por el cambio climático que perturba la producción de alimentos y afecta la disponibilidad de agua, sea de manera deficitaria por largos veranos o en exceso por lluvias torrenciales o prolongados inviernos, sumándose a ello temperaturas muy altas o muy bajas (Robledo et al. 2016; Olmo 2016; Escalante 2015), ó por la rápida mineralización de la materia orgánica en regiones de altas temperaturas y precipitaciones (Major 2010).

A esto se suma la erosión por labranza en suelos con altas pendientes y el cultivo en suelos con bajos niveles de pH como los Andosoles (del japonés an, oscuro, y do, suelo), que son suelos negros de origen volcánico que típicamente se encuentran en zonas montañosas, o en la parte alta de las cuencas alto andinas, que están formados principalmente de depósitos piroclásticos como vidrio volcánico, cenizas, piedra pómez, resultantes de la erupción volcánica (Ibáñez y Manríquez 2011, FAO 2016, Marroquín 2012).

En condiciones de alta humedad estos suelos pueden desarrollar características de extrema acidez y rápida acumulación de materia orgánica ( $\geq 5\%$ )(FAO 2016), lo que sumado a la capacidad de liberar aluminio limita la posibilidad de desarrollar cultivos (Jaramillo 2012), o presentan bajas tasas de productividad (Muñoz 2012), incidiendo en una demanda insatisfecha de alimentos y en que cada día se busquen nuevos suelos para incorporar a la producción y de esta manera aportar a la soberanía alimentaria de la población y al *sumak kawsay* establecido en el artículo 14 de la Constitución del Ecuador (Constitución 2008).

El 0,8% de la tierra arable del planeta (Jaramillo 2012) corresponde a Andosoles y en Ecuador el 7% del territorio nacional (18434.77 km<sup>2</sup>) (Beltrán et al. 2009). Presentan

generalmente textura franco limosa o más fina, alta capacidad de retención de fosfatos y de agua (del 60 al 200 %) (Podwojewski 1999, FAO 2016) y excelente trabajabilidad (Jaramillo 2012), aunque se cuentan entre los suelos más productivos del planeta, muchos de ellos necesitan una fuerte fertilización fosfatada por su alta capacidad de fijación de fósforo que lo torna no disponible para la asimilación de las raíces de las plantas por su bajo pH, siendo ésta su mayor limitación (Ibáñez y Manríquez 2011, Espinosa 2008), los rendimientos de los cultivos son bajos en promedio (Muñoz 2012, Podwojewski y Poulénard 2000).

Estas condiciones impulsan el cambio de uso de suelo y el avance de la frontera agropecuaria en ecosistemas sensibles como los páramos, bosques nativos y humedales en áreas de recarga hídrica. Actualmente se han generado muchos debates, reflexiones y conflictos sobre la conservación de ecosistemas estratégicos como el páramo y bosque alto andino, frente al desarrollo de actividades económicas que satisfaga las necesidades alimentarias de una población que clama por más alimentos (Hidalgo 2014).

Los páramos en los andes ecuatorianos se caracterizan por la presencia de suelos de color negro, con textura suave y porosa y de buenas propiedades físicas, que facilita la captación, retención y regulación hídrica, que los hace estratégicos en términos de provisión de servicios ambientales, como agua para riego, para consumo humano, generación de energía hidroeléctrica, agua para industrias, entre otros (Espinoza 2008, García 2013, Harden et al 2015). Además de la belleza escénica, la captura de carbono y gran diversidad florística y faunística, razones que ponen de manifiesto la importancia de conservarlos y en lo posible preservarlos, evitando el cambio de uso de suelo por el avance de la frontera agropecuaria. Sin embargo el avance de la agricultura hacia los páramos es una amenaza real, sobre todo por parte de productores que buscan nuevas áreas para realizar cultivos (Espinoza 2008) y satisfacer la demanda de alimentos.

En las cuencas altas de la provincia del Azuay, la generación de servicios ambientales es una de las características más importantes de los bosque y pajonales, es por ello que la conservación y preservación del área de recarga hídrica de la cuenca del río Machángara constituye una prioridad para la población cuencana, al obtenerse de ésta agua para la generación de múltiples servicios como: el 50% del agua para consumo humano de 550.000 habitantes del cantón Cuenca, la producción de 39,5 MW de energía hidroeléctrica y el agua de riego para 2.853 usuarios, que en total poseen 1.300 ha para la producción agropecuaria; por la importancia de este espacio de vida el 22 de agosto de 1985, el Ministerio del Ambiente a través del Acuerdo Ministerial N° 0292 declaró al 67% de la cuenca como Área de Bosque y Vegetación Protectora Machángara – Tomebamba, para en el año 2005 mediante Registro Oficial N° 73 incorporar otras 3438 ha, con lo cual el 77% de la cuenca está en ésta categoría (ACOTECNIC 2013).

A pesar de la importancia de conservar los ecosistemas de bosque y páramo, por su valor como fuente de servicios ambientales (Harden et al. 2015), se observa que por lo general la población local realiza cambio de uso de suelo en la cuenca media y alta del río Machángara para incrementar áreas de cultivo y pastizal, aduciendo la baja productividad de los Andosoles de característico pH ácido que predominan en la cuenca media y alta, dando lugar al avance la frontera agropecuaria para satisfacer la necesidad de alimentación de la población, como lo demuestra la dinámica de uso de suelo del período 1995 y 2010, en el que se dio un significativo cambio de uso de suelo para incrementar áreas de cultivo y pastizal, en detrimento de 1.016,2 ha de páramo y 1.087,9 ha de vegetación nativa (ACOTECNIC 2013).

Ante la necesidad de incrementar la producción, sin ampliar la frontera agrícola en la cuenca del Machángara por encontrarse en Bosque y Vegetación Protectora y por la importancia como fuente hídrica del cantón Cuenca, es imperativo generar tecnologías económicamente viables y ambientalmente sustentables para optimizar el uso de los recursos suelo, agua y mejorar la productividad en áreas ya intervenidas que tengan vocación agrícola, en base a tecnologías que estén al alcance de los productores y haciendo uso de materiales de fácil acceso, que constituyan de preferencia residuos en las parcelas productivas; minimizando la dependencia de factores externos como fertilizantes sintéticos y pesticidas que incrementan los costos de producción.

El mantener la productividad debe tener como perspectiva una producción responsable, en la que los sistemas de producción agrícola respeten los principios de la agroecología y permiten incrementar sensiblemente los rendimientos por hectárea sin perjuicio a la fertilidad de los suelos y la sostenibilidad de los agroecosistemas (Dufimier 2014), incorporando enmiendas de fácil elaboración y que estén al alcance de la producción agrícola familiar, que les permita adaptarse a las condiciones cambiantes del ambiente ecológico y económico, se habla entonces de una agricultura orientada por el valor de uso versus una actividad agraria basada en el valor de cambio, garantizando la conservación de los ecosistemas y la rentabilidad ambiental y económica de la agricultura familiar (Escalante 2015; Dufimier 2014).

La producción hortícola orgánica, impulsa el reemplazo del uso de fertilizantes minerales sintéticos por materiales biodegradables, por ello el uso de residuos como enmiendas, que es una práctica muy antigua y que se halla ampliamente extendida en el mundo, puede tener un impacto positivo como abonos, mejoradores del pH y como mejoradores de la estructura y del contenido de materia orgánica edáfica a la vez que ser un factor clave en el proceso de intensificación (Sasal et al 2000) de la agricultura sustentable, siendo una manera de producir alimentos sanos para la población y sin causar daños a la salud del ecosistema (Martínez 2015).

Hasta ahora la corrección de la acidez en los suelos negro andinos productivos suele realizarse mediante la incorporación de cal agrícola, que es un producto que no se encuentra en la zona de estudio, por lo que con el objetivo de mejorar la salud y productividad del suelo, la seguridad alimentaria y el secuestro de carbono se debe considerar la aplicación al suelo de mejoradores, como el “biochar” (Lehmann 2006, Lehmann y Joseph, 2009; Blackwell et al 2009, Sparkes y Stoutjesdijk 2011, Manyà 2012), de acícula de pino, pirolizada en hornos artesanales de bajo costo que se transforma en biocarbón de pH altamente alcalino, que puede ser utilizado como enmienda de los suelos ácidos negro andinos y constituirse en una estrategia viable social, económica y ambientalmente, en el desarrollo e implementación de tecnologías agrícolas que incrementen la productividad de manera sustentable (FAO 2012), ya que como lo manifiesta Prat 1981, uno de los factores físico – químicos en donde reside el fundamento del valor agrícola de un suelo es el grado de acidez o pH, siendo por tanto un determinante de la fertilidad, que al ser corregido se solucionan muchos de los problemas nutritivos del suelo. En este contexto se plantea como alternativa el uso de biochar de acícula de pino.

En Ecuador el pino pátula es una especie exótica que fue utilizada como opción para la reforestación de ecosistemas localizados sobre los 3000 m de altura, a la cual se le vincula con la acidificación de los suelos (Aichholzer y Durán 2010), no siendo la excepción la cuenca alta del río Machángara.

La caída de acículas es un mecanismo muy importante en el ciclo de nutrientes, que determina la renovación y entrada de materia orgánica al suelo (López 2012), sin embargo en plantaciones que no tienen una distancia adecuada de siembra y que no han sido manejadas, se produce acumulación bajo los árboles dando lugar a la formación de un colchón hidrófobo, que impide la infiltración del agua hacia el suelo y el crecimiento de todo tipo de vegetación, por lo que el uso de la acícula para obtener biochar permite la optimización de un material que hasta el momento no ha tenido un uso beneficioso y en muchas ocasiones ha sido fuente de energía para la producción de incendios forestales, por lo que su disposición final a través de la producción de biochar constituye una opción de gestión eficiente de residuos (Preston 2013).

#### - **El biochar**

Uno de los aspectos del futuro energético podría ser la apuesta por las tecnologías de emisiones carbono-negativas, entre las que figura la pirólisis de la biomasa, con la finalidad de obtener gas, biocombustibles y de aprovechar el carbono residual (biochar) como enmienda de suelos productivos y facilitar así el secuestro del carbono. (Sohi et al. 2009, Schahczenski 2010, Gaskin et al 2010).

El biocarbono, biochar o carbono pirogénico, es el producto rico en carbono, resultado de la carbonización de materias primas como: residuos de cosecha, plantas secas, desperdicios

orgánicos, estiércol, madera, lodos residuales (Lehman et al. 2009, Brick 2010, Escalante 2013) y residuos forestales recolectados para la prevención de incendios forestales; a temperaturas entre 500 a 1000 °C, en un flujo restringido de oxígeno, que lo hace diferente al carbón utilizado como combustible (Preston 2013, Cox et al. 2012, International Biochar Initiative 2012), que puede ser producido por pirólisis rápida, lenta y gasificación (Maguire R, 2010), conocidas como vía seca, ó por vía húmeda o carbonización hidrotermal, HTC (Libra et al. 2011).

Suele estar formado por más del 70% de C y cenizas, que le otorga el característico color oscuro, además elementos como: O<sub>2</sub>, H, P, K, N, Ca, S, Si, Mn, K, bases catiónicas, metales pesados, en proporciones variables, con una estructura de macro y microporos, que son relevantes para funciones vitales del suelo como la aireación, la hidrología (Oses 2013, Preston 2013) y hábitat para microorganismos (Cox et al. 2012).

Fue inicialmente vinculado a la exploración y estudio arqueológico de asentamientos humanos en la región amazónica, en donde los suelos se habían enriquecido a partir de lo que parece ser la mezcla deliberada de biomasa quemada en el suelo alrededor de los asentamientos humanos. Estos depósitos de suelos enriquecidos se los conoce como terra preta (Lehmann y Joseph 2010, Schahczenski 2010, Preston 2013), en las que se observó una gran cantidad de C y una fertilidad sostenida (Oses 2013).

El biochar aplicado al suelo presenta algunas ventajas entre las que se destacan que altera la funcionalidad química de éste, dando lugar a la alcalinización del pH, la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, calcio y potasio (Nates 2014, Schahczenski 2010), mejora la capacidad de intercambio catiónico (Cox et al 2012, Oses 2013) por lo tanto la retención de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> (Robelleto et al. 2016), estimula los procesos biológicos que permiten mejorar la estructura, producción de biomasa y fertilidad del suelo (Oses 2013) incrementando la capacidad de retención de agua (Fowles 2007, Glaser et al. 2000) y facilitando la adsorción de nutrientes y micro-organismos del suelo, así como la actividad microbiana (Preston 2013, Schahczenski 2010, Alonso et al. 2013, Maguirre 2010, Atkinson y Fitzgerald 2010), a la vez que favorece el desarrollo del sistema radicular al ayudar a los sustratos a tener buenas propiedades físicas e hidro-físicas (Petter 2012).

Algunos biochars pueden reducir la movilidad de pesticidas y metales pesados como el Cu y Zn y reducir la lixiviación y la escorrentía superficial, (Atkinson y Fitzgerald 2010, Major 2010).

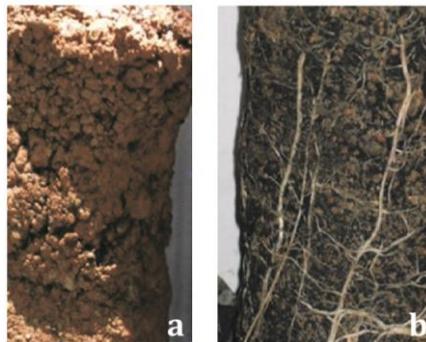
#### - **Aplicación de biochar**

Para la aplicación de biochar debe considerarse las propiedades físicas que éste aporte al suelo, las características físico-químicas, nutricionales supresoras de enfermedades, beneficios medioambientales y aspectos económicas pertinentes (Fornes et al. 2013),

además el pH del suelo y del biochar, sobre todo sí se considera como enmienda en reemplazo del encalado. Dosis de 5 a 50 ton/ha usadas con una gestión correcta de fertilización, dieron efectos positivos sobre el rendimiento de cultivos. (Major 2010).

Los efectos del biochar en las cualidades del suelo y la productividad de los cultivos han sido largamente observados, con resultados generalmente positivos, se cree que los efectos beneficiosos de la aplicación de biochar al suelo mejoran con el tiempo, y esto se debe tomar en consideración cuando se dividen las aplicaciones en el tiempo (Major 2010), ya que influye tanto en el desarrollo de las plantas como en su resistencia sistémica a enfermedades (Fornes et al. 2013). La evidencia muestra que la biodisponibilidad y absorción de nutrientes para la planta aumenta en respuesta a la aplicación biochar, dependiendo de la cantidad de carbón vegetal adicionado al suelo se han logrado mejoras significativas en la productividad (Atkinson y Fitzgerald 2010), es así que en un experimento realizado en Camboya la aplicación de 5 kg de biocarbono por m<sup>2</sup> de suelo aumentó la producción de biomasa comestible 4 veces sin tener que incrementar la aplicación de fertilizante, en tanto que una investigación en Kenia, indica que los beneficios del biocarbón en el rendimiento del grano de sorgo fueron mayores en el segundo año sin aplicación de más biocarbón, lo cual lleva a creer que podría tener tiempos de residencia en el suelo que van desde 1.000 a 10.000 años (Preston 2013, Major 2010), por lo que no es necesario aplicarlo de forma anual.

En Santander Colombia, el uso de biocarbón de bagazo de caña aplicando 40 toneladas ha<sup>-1</sup> para el crecimiento del maíz en suelos ácidos, dio como resultado el incremento de 5 veces en el crecimiento del maíz, así como en el desarrollo radicular como consta en la figura (Preston 2013).



**Figura 1. Desarrollo de las raíces del maíz. a Sin biocarbón. b. Con biocarbón.**  
Fuente: Rodríguez et al., 2009.

La aplicación de biochar en las tasas de 15 y 20 t/ha incrementó significativamente el rendimiento del grano de maíz en un relación de 150 y 98% respectivamente, en comparación con el control, en suelo arenoso. (Uzoma et al. 2012).

En la ciudad de Loja, en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L) bajo invernadero, se obtuvo que las condiciones físicas del suelo para el desarrollo de las raíces del cultivo

mejoraron desde el rango pobre a bueno con la aplicación de 2 kg/m<sup>2</sup> de biocarbón, por cuanto se incrementó la capacidad de aireación, sin embargo no influyó en los valores de la CIC, los contenidos de materia orgánica y de P, Ca y Mg aprovechables, tanto al inicio como al final del ensayo, ocurriendo lo contrario para el K (Villamagua 2013).

Actualmente, no se sabe cuál es la tasa óptima de aplicación biochar para mejorar la producción, sin embargo algunos estudios manifiestan que la adición de biocarbón hasta en un 20% en relación al volumen del suelo es beneficioso para la productividad (Maguire 2010).

Un meta-análisis de los efectos del biocarbón mostró un aumento del rendimiento promedio de 10%, independientemente del tipo de suelo, el tipo de cultivo y la tasa de fertilización (Cox 2012).

Si bien el biocarbón tiene mucho auge a nivel mundial por considerarse como una tecnología que puede incrementar la fertilidad de los suelos y con ello el rendimiento de los cultivos, además el secuestro de carbono, el efecto positivo sobre el cambio climático y la obtención de créditos de carbono, es necesario realizar mayores estudios sobre la caracterización de los biocarbones para definir las propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que son las que determinan su comportamiento en el suelo y en la eficiencia en la mejora de la calidad que aún es muy poca, sobre todo si se considera la gama de agroecosistemas y la gran diversidad de biocarbones. (Estrada 2013)

Aunque se ha hablado mucho sobre lo positivo, algunos biochars han demostrado efectos negativos, generando un reducido crecimiento de las plantas y disminución del rendimiento (Ahmed 2015) principalmente por la inmovilización del nitrógeno (Fornes et al. 2013).

Van Swieten et al. Citado por Robelleto et al. 2016, ensayaron el uso de dos biocarbones en un suelo australiano calcáreo, con una aplicación de 11.1 Mg ha<sup>-1</sup>, los resultados mostraron un incremento en el contenido de carbono total pero no en los nutrientes extraíbles. Por su parte McClellan et al. (2007) citado por Robelleto et al. 2016, probaron un biocarbón de cáscara de nuez de macadamia de carbonizado ultrarrápido, en un estudio en macetas con suelos derivados de cenizas volcánicas, usando lechuga como planta indicadora, encontrándose que los mejores resultados en aumento de biomasa y consumo de nitrógeno correspondieron al testigo y a las macetas con biocarbón al 5%. En otro experimento en el que se probaron tratamientos con biocarbón, fertilización N-P-K y cal en un suelo infértil y usando maíz como cultivo indicador, el mejor tratamiento fue aquel sin biocarbón pero con fertilización N-P-K y cal (Robelleto et al. 2016)

No todos los residuos agrícolas resultan adecuados para la producción de biochar destinado a la aplicación en agricultura. En función del tipo de suelo, la materia prima

utilizada, las condiciones de pirólisis; el biochar obtenido puede resultar ineficaz en la retención de nutrientes y susceptible a la degradación microbiana (McHenry, 2009), los efectos sobre las propiedades del suelo pueden variar siendo también muy variables las respuestas de los cultivos a la adición de biochar (Abenza 2012). La mayoría de los estudios han analizado los efectos del biochar sobre la producción agrícola, sin profundizar en los mecanismos de las plantas que explican estas respuestas (Olmo 2016).

- **Biochar como enmienda de suelo**

Es conocida, la importancia de la nutrición mineral del suelo para la maximización de los rendimientos de los cultivos, siendo la disponibilidad del N y P uno de los factores más limitantes en suelos con pH ácido (Atkinson y Fitzgerald 2010) como los andosoles.

La fertilidad del suelo puede mantenerse y mejorarse mediante el uso de cualquier fertilizante inorgánico, sin embargo no siempre están al alcance de los productores pobres, quienes se ven obligados a depender de los abonos orgánicos como fuente de nutrientes por tener menores costos, éstos son mineralizados en pocos ciclos de cultivo, por lo que las enmiendas orgánicas tienen que aplicarse año tras año para mantener la productividad, a más de ello hay que considerar los problemas de salud para los ecosistemas por aportar metales pesados en algunos casos y lixiviados en otros (Daza-Torres et al. 2008), que contaminan el suelo y las fuentes de agua, cuando éstos no han sido utilizados en estado estable de descomposición como es el caso de la gallinaza, que los productores suelen utilizarla sin que se haya descompuesto completamente.

Otra práctica para mejorar la productividad a partir de la corrección de la acidez del suelo es la incorporación de sulfato de calcio (cal) para reemplazar los iones de hidrógeno en las partículas de suelo arcilloso, obteniendo un efecto benéfico en el pH del suelo y el calcio al mismo tiempo mejora la estructura, incrementando el movimiento del aire y agua en el suelo, sin embargo los productores de hortalizas deben estar conscientes de que hay 10 veces mayor acidez entre un suelo con pH de 4.5 comparado con uno de 5.5. Es decir, para neutralizar la acidez deberá agregarse 10 veces más cantidad de caliza, es posible que la producción no responda a las aplicaciones de cal (León y Gómez 1986).

Es necesario buscar nuevas alternativas de enmiendas orgánicas que influyan sobre la disponibilidad de macroelementos y los niveles de carbono orgánico del suelo, que es parte de la materia orgánica (por lo general más del 50% en peso) y que es vital para el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que influye en el rendimiento de los cultivos; siendo el biochar una opción a ser utilizada, pues varios estudios han demostrado que la incorporación de biocarbón al suelo puede alterar sus propiedades químicas como la CIC, el pH, la disponibilidad de nutrientes, además retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente que los productos inorgánicos, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos (Robelleto et al. 2016), además de retener el C en el suelo por largos

períodos de tiempo, aportando de esta manera al secuestro de C y a la mitigación del cambio climático.

Una alternativa a esta práctica es el uso como enmienda de suelos ácidos de elementos más estables como el biochar. (Uzoma et al. 2012, Preston 2013) para contrarrestar la degradación del suelo y ayudar a recuperar su fertilidad y productividad (Robelleto et al. 2016, Lehmann y Joseph 2009, Nates 2014), al estar compuesto por una gran cantidad de carbono altamente estable y cenizas, aporta al secuestro de carbono si es usado como enmienda (Brewer et al. 2009), incrementa la retención y disminuye la pérdida de los fertilizantes, aumentando la eficiencia de éstos. Puede mejorar el suelo en distintas formas, así eleva el pH, la CIC, los cationes intercambiables como  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , la capacidad de retención de agua y nutrientes como N y P, y disminuye el Al en el suelo (Nates 2014), incrementa el crecimiento y productividad de los cultivos (Maguire 2010, Fornes et al. 2013, Robelleto et al. 2016), y como medio para la disposición final de algunos tipos de materia orgánica considerada como desecho. Según Major 2010, el tamaño de partícula ideal para mejorar la retención de la humedad del suelo no se ha determinado aún, prevaleciendo las consideraciones prácticas relacionadas con el manejo y la tasa de aplicación del biochar.

En el Ecuador el uso de carbón vegetal en horticultura y más aún en suelos Andosoles es muy limitada, por lo que en este contexto se plantea la pregunta ¿Será que la adición de diferentes dosis de biochar de acícula de pino pátula, en el suelo negro andino de la cuenca del río Machángara, incrementan la productividad en los cultivos de nabo y cebollín, a través de la modificación del pH del suelo y de los niveles de disponibilidad de N, P, K. Cuál es la dosis de biochar que genere mayor productividad en éstos cultivos?, pues la producción hortícola de la región se ha caracterizado por la extracción continua de nutrientes del suelo, la disminución del contenido de materia orgánica, del pH y la degradación de la estructura superficial; por lo que se planteó comparar tres tratamientos B2 (biochar 2%), B4 (Biochar 4%) y C (control), con lo cual se determina ¿Cuál es la dosis de biochar que genera mayor incremento de la productividad en los cultivos de nabo y cebollín?, y medir las modificaciones del pH y de los niveles de N, P, K, según la dosis de biochar aplicada.

## 2. CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

Considerando la importancia de la conservación de los ecosistemas de la cuenca media y alta del río Machángara se planteó ésta zona como área de estudio, misma que se localiza en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquias Checa y Chiquintad, en el área de Bosque y Vegetación Protectora Machángara - Tomebamba.

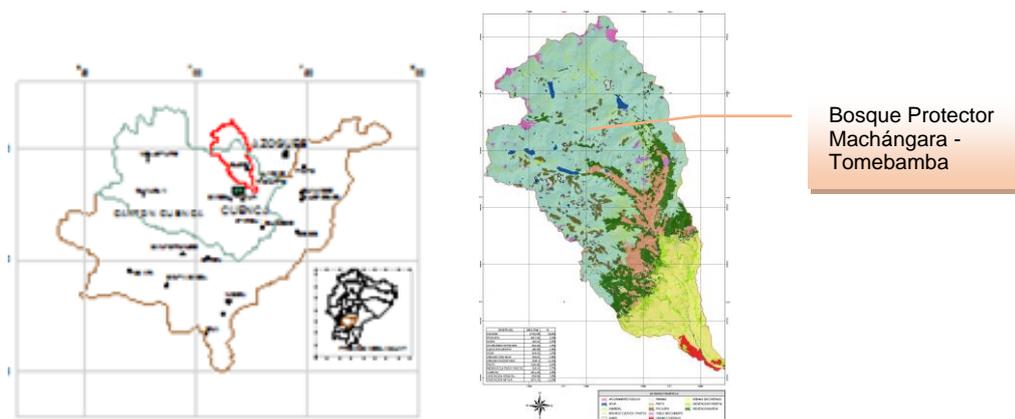


Figura 2. Localización del área de estudio

Los datos climatológicos del área de estudio registrados por la estación Saucay de la Red Hidrometeorológica de ETAPA EP son:

PARÁMETROS	UNIDADES	PROMEDIO
Temperatura del aire	°C	10,8
Lluvia anual	Mm	1204,6

**Tabla 19. Información climatológica**

**Fuente: ETAPA EP**

**Elaboración: propia**

Esta investigación constó de dos partes, la primera fue la producción del biochar a partir del uso de acícula de pino (*Pinus pátula*) y la segunda la implementación de un experimento de bloques al azar conocido también como diseño de doble vía, en un jardín común.

### PRODUCCIÓN DE BIOCHAR DE ACÍCULA DE PINO

El biocarbón utilizado en este estudio fue producido a partir de la acícula recolectada en la plantación de pino (*Pinus pátula*) de propiedad de la Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S.A., localizado en la parroquia Checa, junto a la represa El Labrado, en el punto de coordenadas 718549, 9703655; la misma que se trasladó hasta el centro parroquial de Chiquintad, en donde se secó durante 15 días, previo a ser sometida al proceso de pirólisis.



Figura 3. Plantación de pino



Figura 4. Sitio de recolección



Figura 5. Secado de acícula

Para la obtención del biochar se construyó un horno casero de pirólisis, utilizando un tanque metálico de 55 galones, en el que se soldó una chimenea en la tapa superior. El cilindro más pequeño tiene una capacidad para colocar 22 libras de acícula que luego de la alimentación se cerró herméticamente y se colocó en el interior del tanque grande, a continuación se puso madera de eucalipto y se relleno los espacios con aserrín, para proceder a prender fuego dando de ésta manera inicio al proceso de pirólisis durante un tiempo aproximado de 28 horas, luego del cual se obtienen en promedio 6,5 libras de carbón, es decir alrededor del 30% del peso de la materia prima de alimentación.



Figura 6. Acícula de pino



Figura 7. Horno de pirólisis



Figura 8. Biochar

### **DESARROLLO EXPERIMENTAL: CULTIVO DE NABO Y CEBOLLÍN CON BIOCHAR**

Una vez obtenido el biochar se procedió a realizar la investigación con los cultivos de nabo y cebollín, para lo cual se realizaron las siguientes acciones:

#### **- Recolección de suelo**

El material edáfico correspondiente a suelo negro andino (Andosol) procede de predios con cultivos de pasto localizados en la cuenca media del río Machángara, en el Área de Bosque y Vegetación Protectora Machángara – Tomebamba, recolectados en los siguientes puntos de coordenadas:

PROPIETARIO	SECTOR	COORDENADAS WGS 84		ALTURA m snm
Zoilo Ochoa	Saucay	721002,65	9695179,51	2971,63
ELECAUSTRO	Saucay	720783,18	9695280,85	2985,4
Zoila Camas	Loma de Lucho	720462,21	9694904,97	3057,94
Alicia de Bernal	Saucay	721268,32	9697060,55	3173,42

**Tabla 20. Sitios de recolección de suelo**

Elaboración: propia



**Figura 9. Predio Alicia Bernal**



**Figura 10. Predio Zoilo Ochoa**



**Figura 11. Predio ELECAUSTRO S.A.**

Previo a la recolección del suelo se levantó la capa superficial correspondiente al cultivo de pasto y se procedió a tomar la muestra de una capa de aproximadamente 25 cm de profundidad. El material de los cuatro sitios sumó aproximadamente 270 kg, mismo que se dejó secar a la sombra durante quince días para proceder a cribar utilizando un tamiz de 5 mm de malla, se obtuvo alrededor de 210 kg de material, mismo que fue homogenizado y enviado al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP para ser analizado, obteniéndose las siguientes características:

pH	ppm		meq/100mL	CLASE TEXTURAL	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>				dS/m	%
	N	P	K		Capacidad de Campo	Saturación	Punto de Marchitez	Agua Disponible	C.E	M.O
4,9	6	40	0,8	Franco - limoso	0,15	0,37	0,07	0,08	0,6	39

**Tabla 3. Propiedades químicas y físicas del suelo**

Fuente: Análisis de suelos realizados en laboratorio de INIAP

Elaboración: propia



**Figura 12. Homogenización del suelo**

La determinación de las concentraciones de N, P se realizó con la solución extractante Olsen modificado y se cuantificaron por el método de colorimetría. El K, Ca, Zn, Cu, Fe y Mn, fueron cuantificados por espectrometría de absorción atómica con extractante Olsen modificado.

La determinación del porcentaje de materia orgánica, se realizó por el Método de Walkley – Black y para el pH se utilizó la metodología potenciométrica con extractante suelo agua 1:2.5

#### - **Especies vegetales**

La investigación experimental se desarrolló con dos especies vegetales: col china (*Brassica campestris* L, spp *pekinensis*), conocida localmente como nabo repollo y cebollín (*Allium schoenoprasum*), debido a que son especies que forman parte de la dieta alimenticia de la población del área de estudio y que tienen como costumbre sembrar en sus parcelas productivas, tanto para el autoconsumo como para la comercialización.

#### - **Nabo repollo**

Conocida también como col china (*Brassica campestris* L, spp *pekinensis*), es una planta herbácea de la familia Cruciferae, especie Brassica, que se puede cultivar en gran variedad de suelos de preferencia de textura media, que sean porosos y retengan humedad. Se requiere de suelo con pH entre 5.5 – 6.5 (Cho, H. S., et al., 2001).

Es una hortaliza de rápido crecimiento cuyo ciclo de cultivo desde la siembra hasta la cosecha varía entre 70-90 días, alcanzando una altura entre 30- 40 cm, desarrolla un tallo compacto del cual emergen grandes hojas de color verde oscuro, de peciolo ancho y blanco que ocupa buena parte del limbo, conforme crece forma un cogollo y finalmente la pella, requiere gran cantidad de agua durante todo el ciclo de cultivo, en cuanto a la abonadura es exigente en nitrógeno, que requiere que el suelo esté bien provisto de microelementos y de calcio durante el cerrado de la pella. Es un cultivo importante para la dieta familiar, el valor nutricional para 100 de col fresca se presenta en la tabla 4.

<b>Valor nutricional de nabo repollo en 100 g de producto fresco</b>	
Agua (%)	95
Proteínas (g)	1.2
Hidratos de carbono (g)	3
Fibras (g)	0.6
Calcio (mg)	43
Fósforo (mg)	40
Hierro (mg)	0.6
Sodio (mg)	23
Potasio (mg)	253
Vitamina A (mg)	150
Ácido ascórbico (mg)	25

**Tabla 4. Valor nutricional de 100 g de nabo repollo**

**Fuente:** INFOAGRO

**Elaboración:** propia

### - Cebollín

El cebollín (*Allium schoenoprasum*), pertenece a la familia de las Liliáceas, para su cultivo requiere suelo con pH entre 6 – 6.8, buena disponibilidad de agua (Hernández F, 2016), se puede realizar mediante semilla botánica que tarda hasta seis meses para la cosecha, con semilla vegetativa, que es la modalidad comúnmente empleada por los agricultores, quienes cosechan entre los 45 a 60 días. (Ramírez 2014)

Es una de las hortalizas de hojas de mayor importancia económica, por ser un cultivo común en los huertos caseros, por sus excelentes características culinarias y cualidades alimenticias y medicinales, ocupa un lugar importante en la dieta alimenticia familiar. (Ramírez 2014), contiene vitaminas A, B, C y E, proteínas, hidratos de carbono, grasas y varios minerales como: potasio, fósforo, calcio, magnesio, sodio, azufre, hierro, manganeso, zinc cobre y selenio (Ramírez 2014).

### - Trabajo de campo

Para dar condiciones similares de clima, suelo y temperatura, la investigación fue conducida en un invernadero localizado en el centro parroquial de Chiquintad, en las coordenadas geográficas WGS84 722092,25 y 968895,33, a una altura de 2691 m snm, durante los meses de junio a agosto, que correspondieron a un ciclo de cultivo.

Se prepararon tres tratamientos a partir de la utilización de suelo negro andino y biochar, los mismos que tuvieron la siguiente especificación: suelo negro C y mezclas volumétricas de tierra negra y biochar en relación 100+2 y 100+4, es decir por cada 100 g de suelo negro andino se adicionó 2 y 4 g de biochar respectivamente, estos sustratos fueron utilizados para la producción de col china y de cebollín. La tabla 8 muestra la composición de los sustratos experimentales para los diferentes tratamientos:

TRATAMIENTOS	ABREVIATURA	COMPOSICIÓN %
Suelo negro	C	100
Suelo negro + Biochar	B2	100 + 2
Suelo negro + Biochar	B4	100 + 4

**Tabla 5. Composición de sustratos**  
Elaboración: propia

### - Diseño Experimental

En esta investigación se realizó un total de tres tratamientos y diez réplicas tanto para el ensayo de nabo como de cebollín, organizadas en cuatro bloques, en un diseño de bloques al azar conocido también como diseño de doble vía, que permita realizar comparaciones precisas entre los tres tratamientos del estudio, además de reducir y controlar la varianza del error experimental para tener mayor precisión.

Se utilizaron 120 macetas o unidades de evaluación que conformaron los tres tratamientos del ensayo en cultivo de nabo e igual para el cultivo de cebollín, durante un ciclo de cultivo, tiempo en el cual se midió altura de planta y al final del cultivo se valoró la productividad y comparó los tratamientos B2, B4 y C.

Las variables del experimento se consideran dependientes, ya que la productividad hortícola de nabo y cebollín depende de la cantidad de biochar de acícula de pino que se incorpore al suelo en los diferentes tratamientos y de cómo este modifique el pH y los niveles de N, P, K.

La tabla 9 presenta el diseño de bloques al azar que se aplicó para el cultivo de nabo repollo o col china y en la tabla 10 el diseño experimental para el cultivo de cebollín.

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CULTIVO DE NABO EN ANDOSOL											
BLOQUE 1			BLOQUE 2			BLOQUE 3			BLOQUE 4		
C	B2	B4	B2	C	B4	C	B4	B2	B4	C	B2
B2	B4	C	B4	B2	C	B4	B2	C	C	B4	B2
B4	C	B2	C	B4	B2	B2	C	B4	B4	B2	C
B2	B4	C	B4	B2	C	C	B4	B2	B2	C	B4
C	B2	B4	C	B4	B2	B4	B2	C	C	B4	B2
B4	C	B2	B2	C	B4	B2	C	B4	B4	C	B2
C	B2	B4	C	B4	B2	B4	B2	C	B2	B4	C
B4	C	B2	B2	C	B4	B2	B4	C	B4	C	B2
C	B2	B4	B2	B4	C	C	B2	B4	B2	C	B4
B4	C	B2	C	B4	B2	B4	C	B2	B4	B2	C

B4 Biochar 40 g/kg de suelo	B2 Biochar 20 g/kg de suelo	C Control, sin biochar
-----------------------------	-----------------------------	------------------------

**Tabla 6. Diseño experimental para el cultivo de Nabo**  
**Elaboración: propia**

DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CULTIVO DE CEBOLLÍN EN ANDOSOL											
BLOQUE 1			BLOQUE 2			BLOQUE 3			BLOQUE 4		
B4	C	B2	C	B4	B2	C	B4	B2	C	B2	B4
C	B4	B2	B4	B2	C	B4	B2	C	B2	B4	C
B4	B2	C	B2	C	B4	C	B4	B2	B4	C	B2
B2	C	B4	C	B4	B2	B4	B2	C	B2	B4	C
C	B4	B2	B4	B2	C	C	B4	B2	C	B2	B4
B4	C	B2	B2	C	B4	B2	C	B4	B4	C	B2
B2	B4	C	B4	B2	C	C	B4	B2	C	B2	B4
B4	C	B2	B2	B4	C	B2	C	B4	B4	C	B2
C	B2	B4	C	B2	B4	B4	B2	C	B2	B4	C
B4	C	B2	B4	C	B2	C	B4	B2	C	B2	B4

B4 Biochar 40 g/kg de suelo      B2 Biochar 20 g/kg de suelo      C Control, sin biochar

**Tabla 7. Diseño experimental para el cultivo de Cebollín**

Elaboración: Autor

#### - Montaje del Bioensayo

Para la implementación del experimento con nabo se utilizaron como macetas 120 botellas recicladas, de 3 litros de capacidad, las mismas que fueron cortadas a una altura de 25 cm y rellenas 40 de éstas con 1500 g de suelo negro andino, 40 macetas con suelo y biochar en relación 100+4, para lo cual en cada maceta se colocó 1500 g de suelo y biochar, correspondiendo el suelo a 1442,3 g y 57,7 g de biochar, y 40 macetas con suelo y biochar en relación 100+2, en las que se colocó 1500 gr de mezcla de suelo biochar, de la cual el suelo corresponde a 1470,6 g y 29,4 g de biochar.

La investigación con cebollín se manejó en bandejas plásticas de 24 compartimentos, que son utilizadas para la producción de plantas forestales, cada compartimento tiene 13 cm de profundidad por 6 cm de diámetro; se llenó 40 compartimentos con 200 g de suelo negro, 40 compartimentos con mezcla de 196 g de suelo negro andino y 4 g de biochar en relación 100+2% y 40 con 192 g de suelo negro andino y 8 g de biochar en relación 100+4%. En la tabla 8, se muestra la cantidad de suelo y biochar para cada tratamiento.

TRATAMIENTO	SIGLA	NABO		CEBOLLÍN	
		ANDOSOL g	BIOCHAR g	ANDOSOL g	BIOCHAR g
T1 Suelo negro	C	1500		200	
T2 Suelo negro + Biochar	B2	1470,6	29,4	196	4
T3 Suelo negro + Biochar	B4	1442,3	57,7	192	8

**Tabla 8. Descripción de sustratos para cultivo de nabo y cebollín**

**Elaboración:** propia



Figura 13. Preparación de sustrato



Figura 14. Bloques al azar

**- Ensayo con cultivo de nabo**

La siembra de las semillas biológicas de nabo en cada una de las macetas se realizó el 3 de junio, luego de que el 1 de junio se realizó la aplicación de riego hasta capacidad de campo, se sembraron 3 semillas por maceta, para a los 10 días proceder a realizar un raleo, dejando la que primero germinó y eliminando las demás.

A todas las plantas del ensayo se les proporcionó el mismo volumen de agua, distribuido de la siguiente manera:

FECHA	RIEGO	VOLUMEN ml
01-jun-16	Riego 1	500
07-jun-16	Riego 2	170
10-jun-16	Riego 3	170
12-jun-16	Riego 4	100
17-jun-16	Riego 5	50
24-jun-16	Riego 6	50
29-jun-16	Riego 7	50
03-jul-16	Riego 5	50
08-jul-16	Riego 6	50
15-jul-16	Riego 6	50
19-jul-16	Riego 7	50
22-jul-16	Riego 8	50
26-jul-16	Riego 9	150
29-jul-16	Riego 10	150
02-ago-16	Riego 11	150
05-ago-16	Riego 12	260
09-ago-16	Riego 13	150
11-ago-16	Riego 14	150
13-ago-16	Riego 15	150
15-ago-16	Riego 16	150
17-ago-16	Riego 17	150
19-ago-16	Riego 18	150
TOTAL		2950

**Tabla 9. Distribución del riego para el cultivo de nabo**

**Elaboración:** propia

Se midieron las siguientes variables:

### - Altura de planta

A partir de la siembra y hasta la cosecha, cada 15 días se tomaban datos de la altura de la planta a partir del cuello utilizando una cinta graduada. Para la toma de la información se consideraba la hoja de mayor altura en estado natural, no se las extendían.



Figura 15. Medición de altura

Figura 16. Bloque 4

Figura 17. Ensayo completo

### - Productividad

Debido a que a los 81 días de la siembra del nabo se evidenciaron signos de madurez del cultivo se procedió a la cosecha, registrando el peso húmedo de cada uno de los tratamientos y en las diez réplicas de los cuatro bloques experimentales, para de inmediato identificar y colocar en fundas de papel para ser llevado al laboratorio en donde se ingresó a la estufa por 72 horas, a 50 ° C, para obtener el peso seco.

### - Ensayo con cultivo de Cebollín

La siembra del cebollín se realizó el día 14 de junio utilizando semilla vegetativa (bulbos completos para obtener la mayor producción de acuerdo a la recomendación de Ramirez 2014), debido a que es la forma de producción utilizada por la población del área de estudio, para homogenizar las condiciones de las semillas ello se realizó una selección de los bulbos que pesaban entre 10,3 y 11,5 g, previo a la siembra se aplicó riego hasta capacidad de campo en cada maceta. Se colocó un bulbo por maceta, a partir de la siembra cada 15 días se tomó la altura de la hoja de mayor tamaño.



Figura 18. Bulbo de Cebollín



Figura 19. Bulbo de Cebollín

Durante el ciclo de cultivo se realizaron 11 riegos, utilizando el siguiente volumen de agua:

FECHA	RIEGO	VOLUMEN ml
12-jun-16	Riego 1	60 ml
17-jun-16	Riego 2	20 ml
29-jun-16	Riego 3	20 ml
03-jul-16	Riego 4	10 ml
15-jul-16	Riego 5	10 ml
19-jul-16	Riego 6	10 ml
22-jul-16	Riego 7	10 ml
26-jul-16	Riego 8	20 ml
29-jul-16	Riego 9	20 ml
02-ago-16	Riego 10	20 ml
05-ago-16	Riego 11	20 ml
<b>TOTAL</b>		<b>220</b>

**Tabla 210. Distribución del riego para el cultivo de cebollín**  
Elaboración: propia

Se realizó la medición de:

- **Altura de planta**

A partir de la siembra y hasta la cosecha, cada 15 días se midió la altura de la planta a partir del cuello. Para la toma de la información se consideraba la hoja de mayor altura en estado natural.

- **Productividad**

Dado que el ciclo del cultivo del cebollín está entre 45 a 60 días y que a los 56 días se evidenciaron signos de madurez fisiológica se procedió a la cosecha, se lavó la planta para eliminar residuos de sustrato y a continuación se dividió la planta de cebollín en: hojas, bulbo y raíz, registrando el peso húmedo de cada las plantas de los tratamientos y en las diez réplicas de los cuatro bloques experimentales, para de inmediato identificar y colocar en fundas de papel etiquetadas que fueron llevadas al laboratorio de la Universidad del Azuay en donde se ingresó a la estufa, a 50° C por 48 horas para obtener el peso seco.



Figura 20. Cultivo de cebollín con los diferentes tratamientos

### 3. CAPITULO 2: RESULTADOS

Previo a montar el bioensayo se elaboró el biocarbón de acícula de pino mediante un horno de pirólisis artesanal y con éste y el suelo recolectado se prepararon los diferentes sustratos. Del análisis realizado en el laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, se desprenden los siguientes resultados:

	pH		ppm				meq/100mL						meq/100mL		Ca/Mg		Mg/K		(Ca+Mg)/K	
			N		P		K		Ca		Mg		E Bases							
BIOCHAR	8,9	Al	32,2	M	66	A	0,48	A	7,65	M	0,96	B	9,09	8	M	2	B	17,94	M	
C	4,9	MAc	5,68	B	40	A	0,8	A	13,2	A	1,58	M	15,54	8,3	A	2	B	18,42	M	
B2	4,4	MAc	4,82	B	28	A	0,6	A	10,4	A	1,4	M	12,36	7,4	M	2	B	19,6	M	
B4	4,5	MAc	3,96	B	32	A	0,54	A	9,65	A	1,36	M	11,55	7,1	M	3	M	20,39	M	

**Tabla 11. Propiedades químicas del biochar y de los diferentes sustratos empleados en el ensayo**

**Fuente:** Análisis de suelos realizados en laboratorio de INIAP

**Elaboración:** propia

El efecto de la adición de diferentes dosis de biochar de acícula de pino en la producción de los cultivos de Nabo y Cebollín se evaluó bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar. Los resultados se sometieron a un Análisis de varianza (ANOVA), al 95% de confianza, de un factor y separación de medias mediante Tukey ( $P \leq 0.05$ ). El esquema de ANOVA corresponde a:

FUENTE DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
Tratamiento	2
Error experimental	117
Total	119

**Tabla 222. Esquema de ANOVA de un factor**

**Elaboración:** propia

Los resultados que se presentan muestran los efectos de las distintas dosis de biochar de acícula de pino en el ciclo vegetativo y producción de las hortalizas nabo repollo y cebollín.

#### - Análisis Estadístico del cultivo de Nabo

##### Altura de hoja de nabo

A partir de los quince días de la siembra de la semilla de nabo y hasta los 81 días que se realizó la cosecha, se tomó datos de altura de las hojas, en cada uno de los tratamientos y repeticiones por bloque.

El análisis estadístico ANOVA con el 95% de confianza muestra que a los quince días existen diferencias significativas en el desarrollo de las plantas de nabo de los tratamientos C, B2 y B4, con un valor de  $p < 0,006$ , siendo los tratamientos B2 y B4 los que presentan mayor crecimiento.

Fuente	GL	C	CM	F	P
Factor	2	8,977	4,489	5,29	0,006
Error	117	99,282	0,849		
Total	119	108,260			

	N	Media	Agrupación
B2	40	3,9150	A
B4	40	3,8675	A
C	40	3,3125	B

**Tabla 13. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de nabo a los 15 días de la siembra**

Elaboración: propia

De acuerdo al ANOVA, a los 30 y 45 días no existen diferencias significativas entre los tratamientos, siendo los valores de  $p < 0,136$  y  $p < 0,81$  respectivamente, los tratamientos C, B2 y B4 comparten el mismo rango.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	11,74	5,87	2,03	0,136
Error	117	338,86	2,90		
Total	119	350,60			

	N	Media	Agrupación
B4	40	7,943	A
B2	40	7,763	A
C	40	7,208	A

**Tabla 14. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de nabo a los 30 días de la siembra**

Elaboración: propia

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	2,69	1,34	0,21	0,810
Error	117	43,34	6,35		
Total	119	746,03			

	N	Media	Agrupación
C	40	14,682	A
B2	40	14,678	A
B4	40	14,363	A

**Tabla 15. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de nabo a los 45 días de la siembra**

Elaboración: propia

A los 60 días existen diferencias significativas entre C, B2 y B4 ( $p$ -valor  $< 0,006$ ), presentando el mayor desarrollo el control C con una media de 20,67 cm, seguido de B2 que presenta una media de 19,51 cm y B4 con 18,05 cm de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	134,5	67,3	5,33	0,006
Error	117	1477,1	12,6		
Total	119	1611,6			

	N	Media	Agrupación
C	40	20,637	A
B2	40	19,512	A B
B4	40	18,051	B

**Tabla 16. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de nabo a los 60 días de la siembra**

**Elaboración:** propia

A los 75 días existen diferencias significativas en el desarrollo de la hoja de nabo entre los diferentes tratamientos ( $p$ -valor  $< 0,01$ ), siendo el tratamiento C el de mayor desarrollo con una media de 21,61 cm, seguido del tratamiento B2 con 20,63 cm de media y B4 con 19,00 cm de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	138,9	69,5	4,81	0,010
Error	117	1690,4	14,4		
Total	119	1829,4			

	N	Media	Agrupación
C	40	21,615	A
B2	40	20,627	A B
B4	40	19,005	B

**Tabla 17. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de nabo a los 75 días de la siembra**

**Elaboración:** propia

A los 81 días se mantienen las diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,025$ ), siendo nuevamente C el de mayor desarrollo de hoja con 22,57 cm de media, seguido por B2 con 21,81 cm de media y B4 con 20,42 cm de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	95,6	47,8	3,83	0,025
Error	117	1460,1	12,5		
Total	119	1555,6			

	N	Media	Agrupación
C	40	22,573	A
B2	40	21,813	A B
B4	40	20,418	B

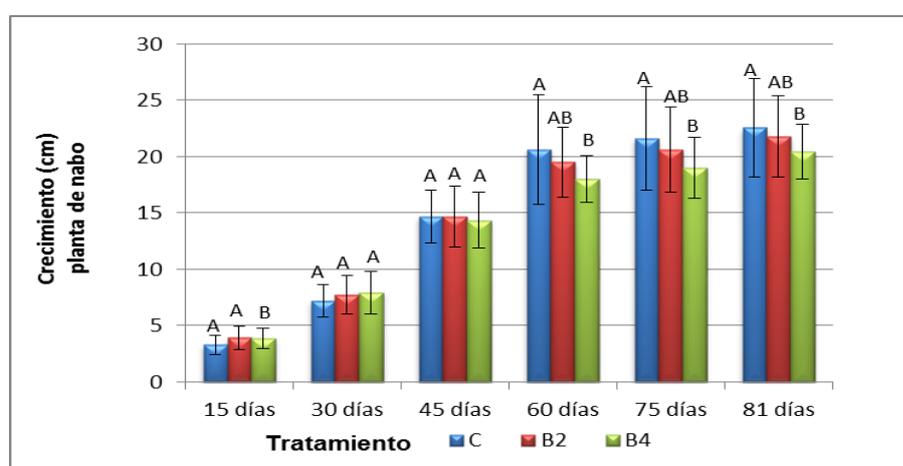
**Tabla 18. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de nabo a los 81 días de la siembra**

**Elaboración:** propia

En la tabla 19 y figura 21 se visualizan de manera gráfica los resultados.

TIEMPO	MEDIA DE CRECIMIENTO DE NABO EN cm			F	P	> crecimiento
	C	B2	B4			
15 días	3,31	3,92	3,87	5,29	0,006	B2, B4
30 días	7,21	7,76	7,94	2,03	0,136	C, B2, B4
45 días	14,68	14,68	14,36	0,21	0,81	C, B2, B4
60 días	20,64	19,51	18,05	5,33	0,006	C
75 días	21,62	20,63	19,01	4,81	0,010	C
81 días	22,57	21,81	20,42	3,83	0,025	C

**Tabla 19. Media de crecimiento de planta de nabo por fecha y tratamiento**  
Elaboración: propia



**Figura 21. Media de crecimiento de parte aérea de planta de nabo por fecha y tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

### Biomasa aérea

A los 81 días de la siembra las plantas presentaron indicios de madurez fisiológica, por lo que se procedió a la cosecha registrando el peso tanto de la biomasa de la pella como de la raíz. El análisis estadístico ANOVA con el 95% de confianza de la biomasa de la pella u hojas de nabo, determina que existen diferencias significativas en la biomasa de los tratamientos C, B2 y B4 ( $p$ -valor  $< 0,001$ ), correspondiendo la mayor biomasa al control C con una media de 7,501 g, seguido del tratamiento B2 (biochar 2%) con una media de 6,052 g y en último lugar el tratamiento B4 (biochar 4%) que presenta 4,2 g de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	219,36	109,68	70,04	0,001
Error	117	183,22	1,57		
Total	119	402,58			

	N	Media	Agrupación
C	40	7,501	A
B2	40	6,052	B
B4	40	4,198	C

**Tabla 230. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa aérea de planta de nabo**

Elaboración: propia

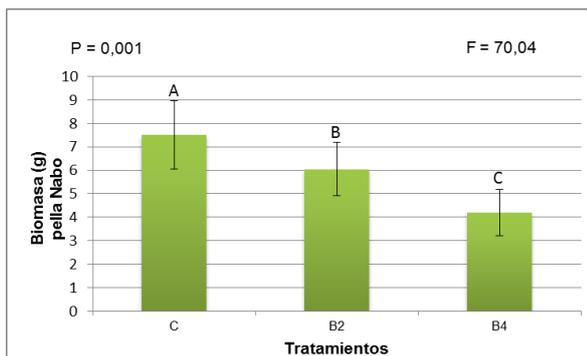


Figura 22. Variación de biomasa de pella de nabo por tratamiento y sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.

### Longitud de raíz

En cuanto a la longitud de la raíz de nabo el ANOVA determina que existen diferencias significativas entre los tratamientos C, B2 y B4 ( $p$ -valor  $< 0,009$ ), correspondiendo la mayor longitud al tratamiento B2 con una media de 24,30 cm, seguido del tratamiento control con una media de 22,36 cm y B4 presenta la menor longitud de raíz con 21,50 cm de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	165,1	82,6	4,88	0,009
Error	117	1979,9	16,9		
Total	119	2145,0			

	N	Media	Agrupación
B2	40	24,300	A
C	40	22,358	A B
B4	40	21,495	B

Tabla 241. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para longitud de raíz de planta de nabo

Elaboración: propia

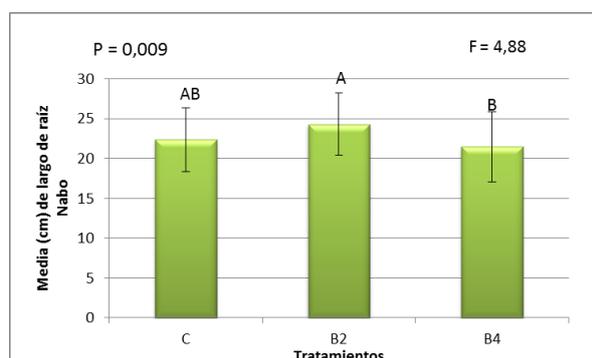


Figura 23. Variación de largo de raíz de nabo por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.

### Biomasa de raíz

El análisis varianza con el 95% de confianza, del **peso seco de raíz** establece que existen leves diferencias entre los tratamientos C y B2 que presenta la media mayor de 0,75 g,

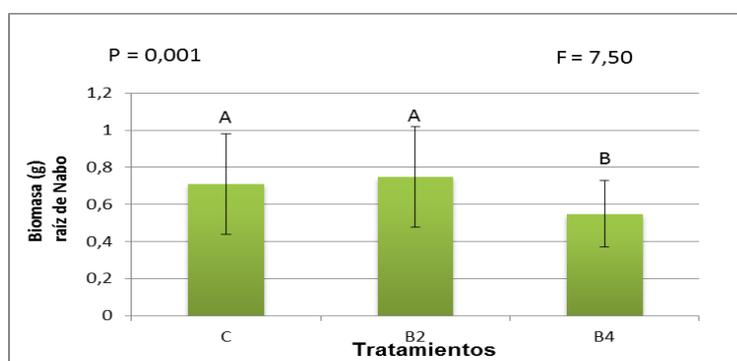
seguido por el control C con 0,71 gr, de acuerdo al análisis de medias de Tukey comparte el mismo rango (A), sin embargo existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,001$ ) con B4 que se encuentra en el rango (B) con una media de 0,55 g.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,9058	0,4529	7,50	0,001
Error	117	7,0622	0,0604		
Total	119	7,9681			

	N	Media	Agrupación
B2	40	0,7480	A
C	40	0,7110	A
B4	40	0,5480	B

**Tabla 22. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa de raíz de planta de nabo**

Elaboración: propia



**Figura 24. Variación de biomasa de raíz de nabo por tratamiento y sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

#### Biomasa total de planta de Nabo

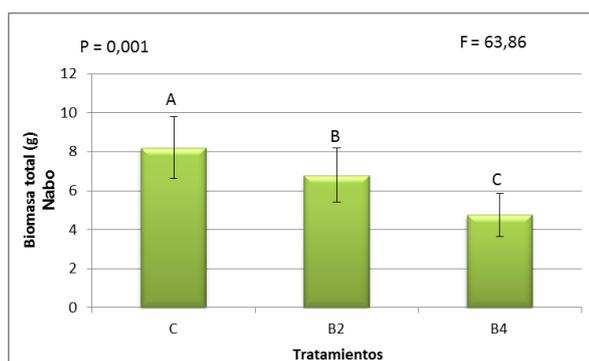
En la figura 27 se puede observar la productividad total (pella más raíz) para los diferentes tratamientos, el análisis estadístico establece que existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,000$ ) entre C, B2 y B4, siendo el control C el que presenta mayor rendimiento con una media de 8,21 g, seguido del tratamiento B2 con 6,8 g de media y el tratamiento B4 tiene la menor productividad con 4,75 g de media. El análisis de medias de Tukey coloca en diferentes rangos a todos los tratamientos.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	243,08	121,54	63,86	0,001
Error	117	222,69	1,90		
Total	119	465,78			

	N	Media	Agrupación
C	40	8,212	A
B2	40	6,800	B
B4	40	4,746	C

**Tabla 253. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa total de planta de nabo**

Elaboración: propia



**Figura 25. Variación de biomasa total de Nabo para tratamientos con diferentes dosis de biochar B2 y B4 y el tratamiento control C, con sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

#### - Análisis Estadístico del cultivo de Cebollín

##### Crecimiento de hoja de cebollín

A partir de los quince días de la siembra de la semilla vegetativa de cebollín y hasta los 56 días en que se realizó la cosecha debido a que la planta presentó signos de madurez fisiológica, se tomaron datos de la altura de las hojas, en los tratamientos C, B2 y B4, con sus repeticiones por bloque, los resultados se presentan en la tabla 31 y en la figura 28 se presenta gráficamente que a los 15 días del cultivo de cebollín no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,524$ ) en el desarrollo de las hojas de cebollín para los tratamientos C, B2 y B4, que comparten el mismo rango en la comparación de Tukey, como consta en la tabla 27.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	15,6	7,8	0,65	0,524
Error	117	1400,4	12,0		
Total	119	1415,9			

	N	Media	Agrupación
B2	40	3,395	A
C	40	2,658	A
B4	40	2,607	A

**Tabla 264. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de planta de cebollín a 15 días de la siembra**

A los 30 días tampoco existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,0391$ ) entre los tratamientos, compartiendo el mismo rango en base al análisis de comparaciones de Tukey.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	83,5	41,7	0,95	0,391
Error	117	5164,6	44,1		
Total	119	5248,1			

	N	Media	Agrupación
B2	40	24,902	A
B4	40	24,252	A
C	40	22,900	A

**Tabla 275. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de planta de cebollín a 30 días de la siembra**

A los 45 días todos los tratamientos se encuentran en el mismo rango de acuerdo al análisis de Tukey dado que no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,469$ ) de acuerdo al ANOVA

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	47,9	23,9	0,76	0,469
Error	117	3679,2	31,4		
Total	119	3727,1			

	N	Media	Agrupación
B2	40	32,902	A
B4	40	32,883	A
C	40	31,552	A

**Tabla 286. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de planta de cebollín a 45 días de la siembra**

Elaboración: propia

Al final del cultivo, día 56, se presentan diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,025$ ), siendo el tratamiento B2 el que presenta la mayor altura de hoja, con una media de 43,31 cm, seguido del tratamiento C que presenta una media de 43,14 cm y el tratamiento B4 con 41,19 cm de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	111,4	55,7	3,79	0,025
Error	117	1721,0	14,7		
Total	119	1832,4			

	N	Media	Agrupación
B2	40	43,310	A
C	40	43,142	A B
B4	40	41,188	B

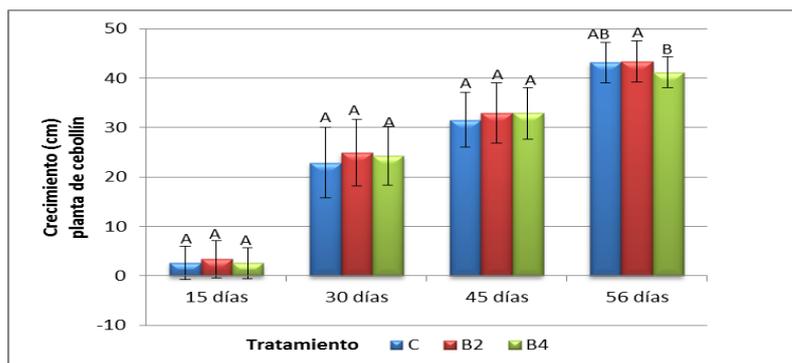
**Tabla 27. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para altura de planta de cebollín a 56 días de la siembra**

Elaboración: propia

En la tabla 28 se presenta el resumen del proceso de desarrollo durante el ciclo de cultivo.

TIEMPO	MEDIA DE CRECIMIENTO DE CEBOLLÍN EN cm			F	P	> crecimiento
	C	B2	B4			
15 días	2,66	3,4	2,61	0,65	0,524	C, B2, B4
30 días	22,9	24,902	24,252	0,95	0,391	C, B2, B4
45 días	31,552	32,902	32,883	0,76	0,469	C, B2, B4
56 días	43,142	43,31	41,188	3,79	0,025	B2

**Tabla 28. Media de altura de hoja de cebollín por tratamiento y fecha, con sus respectivos valores de F, P y el tratamiento que presenta mayor altura por fecha.**



**Figura 26. Variación de altura de hoja de cebollín durante el ciclo vegetativo y sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

### Biomasa de Hoja de Cebollín

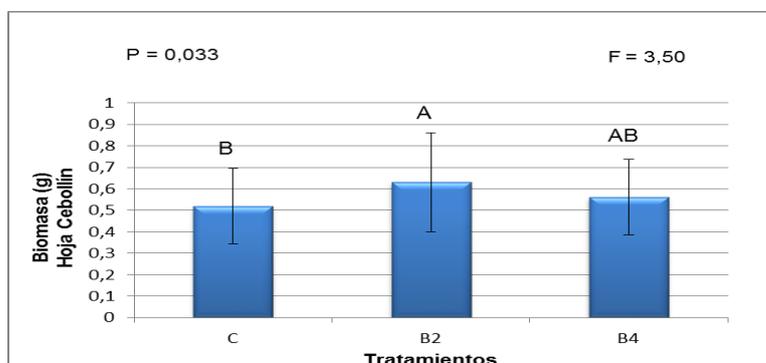
El análisis estadístico ANOVA de un factor con el 95% de confianza para biomasa de hojas de cebollín establece que existen diferencias significativas ( $p$ -valor < 0,033) entre los tratamientos C, B2 y B4, del análisis de medias de Tukey se observa que el tratamiento con mayor biomasa de hojas es B2 (biochar 2%), con una media de 0,63 g, seguido del tratamiento B4 (biochar 4%) que tiene una media de 0,56 g y en tercer lugar está el tratamiento C (control) con 0,52 g de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,2686	0,1343	3,24	0,042
Error	123	5,0909	0,0414		
Total	125	5,3595			

	N	Media	Agrupación
B2	40	0,6320	A
B4	40	0,5625	A B
C	40	0,5170	B

**Tabla 29. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa de hoja de cebollín.**

Elaboración: propia



**Figura 27. Variación de biomasa de hoja de Cebollín por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

### Biomasa de bulbo

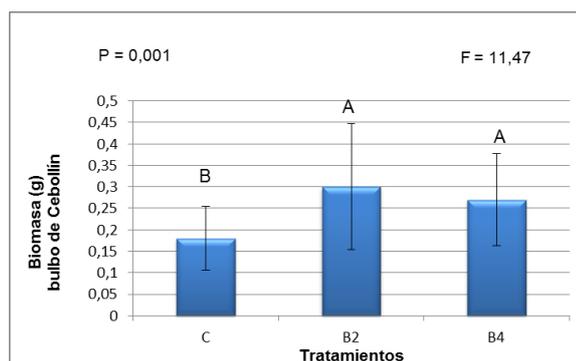
De acuerdo al análisis estadístico ANOVA de un factor, al 95% de confianza para peso seco de bulbo de cebollín se determina que existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,000$ ) entre los tratamientos C, B2 y B4, de la agrupación de medias de Tukey se observa que el tratamiento con mayor biomasa de bulbo corresponde a B2 que tiene una media de 0,3 g, seguido del tratamiento B4, con una media de 0,27 g, estos dos tratamientos comparten el rango A y el tratamiento control C es el que menor biomasa presenta, con media de 0,18 g.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,2963	0,1481	11,47	0,001
Error	117	1,5103	0,0129		
Total	119	1,8066			

	N	Media	Agrupación
B2	40	0,2973	A
B4	40	0,2735	A
C	40	0,1820	B

**Tabla 290. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa de bulbo de cebollín.**

Elaboración: propia



**Figura 28. Variación de medias de biomasa seca de bulbo de Cebollín por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

### Biomasa de raíz

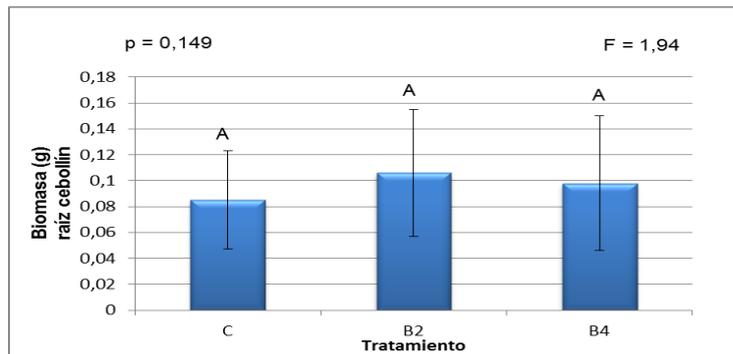
Al realizar el análisis de varianza con el 95% de confianza para peso de raíz se determina que no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,149$ ) entre los tratamientos C, B2 y B4 y en el análisis de medias de Tukey todos se encuentran en el rango A.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,00851	0,00426	1,94	0,149
Error	117	0,25693	0,00220		
Total	119	0,26544			

	N	Media	Agrupación
B2	40	0,10575	A
B4	40	0,09750	A
C	40	0,08525	A

**Tabla 301. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa de raíz de cebollín.**

Elaboración: propia



**Figura 29. Variación de biomasa seca de raíz de Cebollín en dos tratamientos con diferentes dosis de biochar y el tratamiento control, con sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

**Biomasa Total de planta de cebollín**

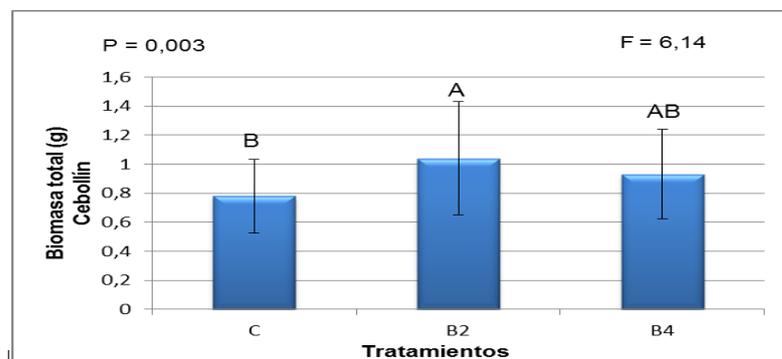
El análisis estadístico ANOVA, con un nivel de confianza del 95%, determina que existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,003$ ) entre los tratamientos C, B2 y B4 para el valor de biomasa total de planta de Cebollín, presentando la mayor media el tratamiento B2 con 1,035 g, seguido del tratamiento B4 con 0,93 g de media y el tratamiento C con 0,78 g.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	1,273	0,636	6,14	0,003
Error	117	12,128	0,104		
Total	119	13,400			

	N	Media	Agrupación
B2	40	1,0350	A
B4	40	0,9335	A B
C	40	0,7843	B

**Tabla 312. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para biomasa total de cebollín.**

Elaboración: propia



**Figura 30. Variación de biomasa total de la planta de cebollín por tratamiento y sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

**Macollos de cebollín**

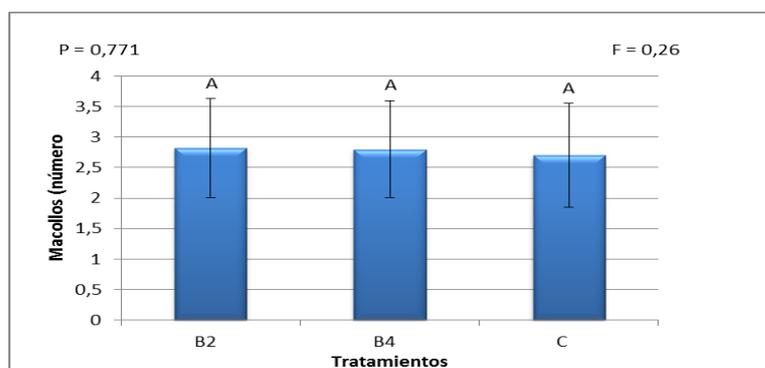
En cuanto al número de macollos, no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,771$ ) entre los tratamientos C, B2 y B4. La mayor media corresponde a B2 con 2,82, seguido de B4 con 2,8 y en último lugar el tratamiento C con 2,7 macollos de media.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,350	0,175	0,26	0,771
Error	117	78,575	0,672		
Total	119	78,925			

	N	Media	Agrupación
B2	40	2,8250	A
B4	40	2,8000	A
C	40	2,7000	A

**Tabla 323. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para número de macollos de planta de cebollín.**

Elaboración: propia

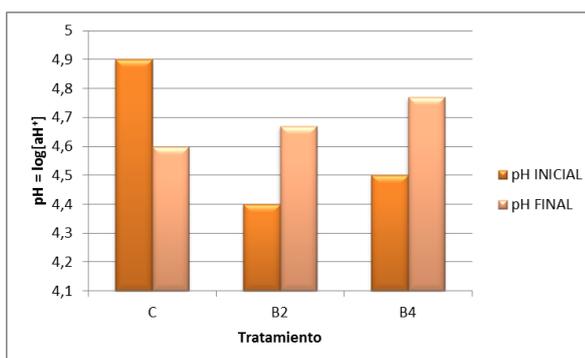


**Figura 31. Variabilidad de número de macollos de planta de cebollín por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras iguales no determinan diferencias entre tratamientos.**

- **Análisis estadístico del comportamiento del suelo**

**pH**

La mezcla de 20 g de biochar con 1000 g de suelo para formar el tratamiento B2 y de 40 g de biochar con 1000 g de suelo para formar el tratamiento B4, alteró el pH del suelo generándose valores diferentes antes y después del cultivo de nabo, como se muestra en la figura 32.



**Figura 32. Variabilidad de pH del sustrato de los diferentes tratamientos, antes y después del cultivo de nabo.**

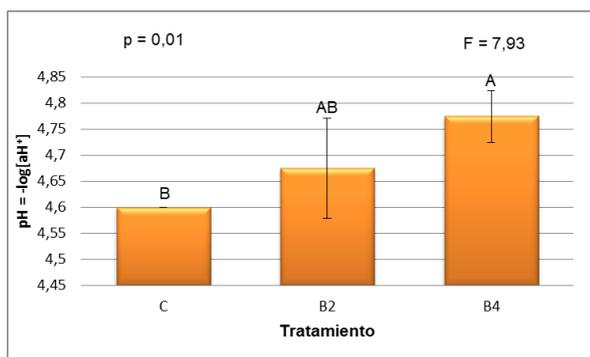
Luego del cultivo de nabo el sustrato presenta ligeras diferencias ( $p$ -valor  $< 0,01$ ) en cuanto al pH, siendo el mayor incremento para el tratamiento B4 con una media de pH de 4,78 por lo que se encuentra en el rango A, seguido del tratamiento B2 con una media de 4,68 por lo que se encuentra en el rango AB, en tanto que el tratamiento C presenta una mayor acidificación con una media de 4,6, encontrándose en el rango B, el pH para éste tratamiento es inferior al pH inicial del suelo que fue 4,9.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,06167	0,03083	7,93	0,010
Error	9	0,03500	0,00389		
Total	11	0,09667			

	N	Media	Agrupación
B4	4	4,77500	A
B2	4	4,67500	A B
C	4	4,60000	B

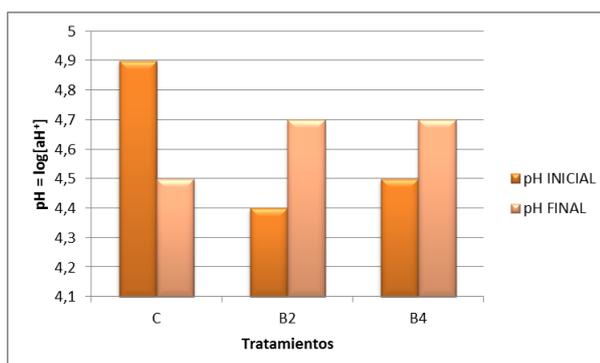
**Tabla 334. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para pH ( $pH = -\log[aH^+]$ ) de sustrato de cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar.**

Elaboración: propia



**Figura 33. Variación de pH del sustrato con cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar y sus respectivas barras de error estándar. Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

Luego del cultivo de cebollín el pH se incrementa ligeramente de 4,4 para B2 a 4,7 y de 4,5 para B4 a 4,7, en tanto que para el control se incrementa la acidez de 4,9 como valor inicial a 4,4 como valor final, como se muestra en la figura 34.



**Figura 34. Variación de pH del sustrato con cultivo de cebollín, en los tratamientos C, B2 y B4.  
Conductividad eléctrica**

En cuanto a la conductividad eléctrica el análisis de suelo determinó que los valores para todos los tratamientos y sus repeticiones fueron bajos o no significativos. El análisis estadístico estableció que existen diferencias significativas entre tratamientos, presentado el valor más alto el tratamiento B4 con una media de 0,20, compartiendo el mismo rango con el tratamiento B2 con 0,19 de media y C con 0,15 de media se encuentra en el rango B.

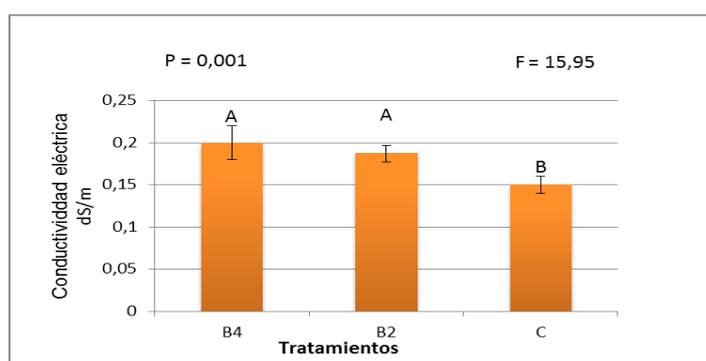
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,006467	0,003233	15,95	0,001
Error	9	0,001825	0,000203		
Total	11	0,008292			

	N	Media	Agrupación
B4	4	0,20250	A
B2	4	0,18750	A
C	4	0,14750	B

**Tabla 345. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para Conductividad eléctrica, de suelo de cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar.**

**Elaboración:** propia

En la figura 35 se presentan los resultados de manera gráfica.



**Figura 35. Variación de la conductividad eléctrica del suelo en dos tratamientos con diferentes dosis de biochar en comparación con el control C y sus respectivas barras de error estándar.**

**Letras diferentes determinan diferencias entre tratamientos.**

### Nitrógeno

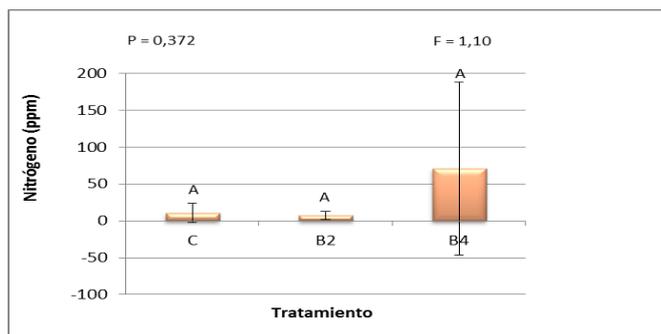
El análisis estadístico ANOVA para cultivo de nabo determina que no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,372$ ) en cuanto al contenido de N entre los diferentes tratamientos de la investigación.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	10233	5116	1,10	0,372
Error	9	41697	4633		
Total	11	51930			

	N	Media	Agrupación
B4	4	71,12	A
C	4	10,86	A
B2	4	7,62	A

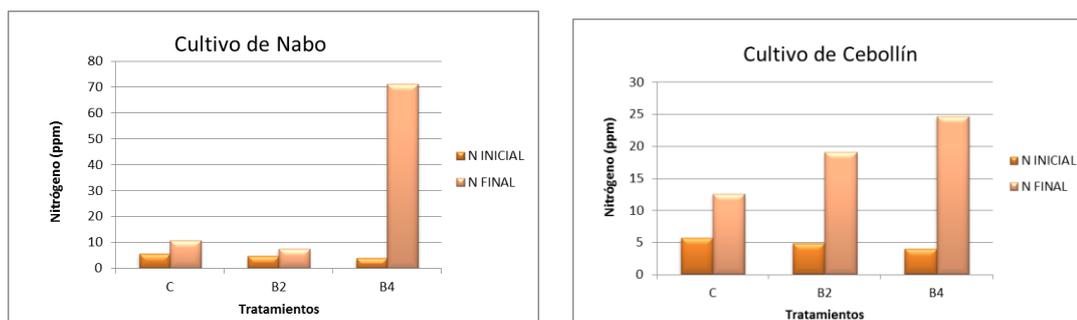
**Tabla 356. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para N de suelo de cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar.**

Elaboración: propia



**Figura 36. Variación de N por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras iguales no determinan diferencias entre tratamientos**

Al comparar las medias entre el N inicial y luego del ciclo de cultivo, existe incremento en la concentración de este elemento en todos los tratamientos de nabo y cebollín, como se observa en las figuras siguientes.



**Figura 37. Variación de N en los tratamientos C, B2 y B4, luego del cultivo de nabo y cebollín.**

### Fósforo

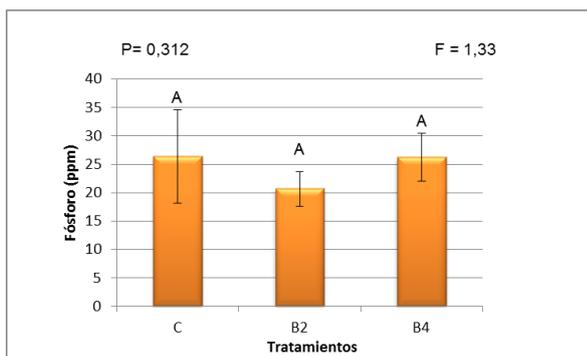
El análisis estadístico determina que no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,312$ ) entre tratamientos con biochar B2 y B4 y el control con respecto al nivel de fósforo, como se muestra en el análisis de comparaciones de Tukey en donde todos los tratamientos comparten el mismo rango.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	84,3	42,1	1,33	0,312
Error	9	285,0	31,7		
Total	11	369,3			

	N	Media	Agrupación
C	4	26,425	A
B4	4	26,240	A
B2	4	20,712	A

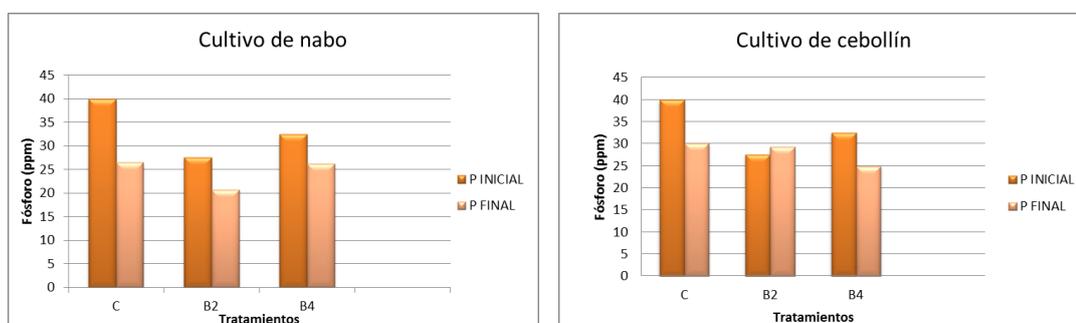
**Tabla 37. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para P para suelo de cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar.**

Elaboración: propia



**Figura 38. Variación de P por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras iguales no determinan diferencias entre tratamientos**

Al comparar las medias entre el P inicial y luego del ciclo de cultivo, existe decremento en la concentración de este elemento en todos los tratamientos del cultivo de nabo, en tanto que en cebollín, existe decremento en los tratamientos C y B4, para el tratamiento B2 existe un ligero incremento, como se observa en las figuras siguientes.



**Figura 39. Variación de P en los tratamientos C, B2 y B4, luego del cultivo de nabo y cebollín.**

### Potasio

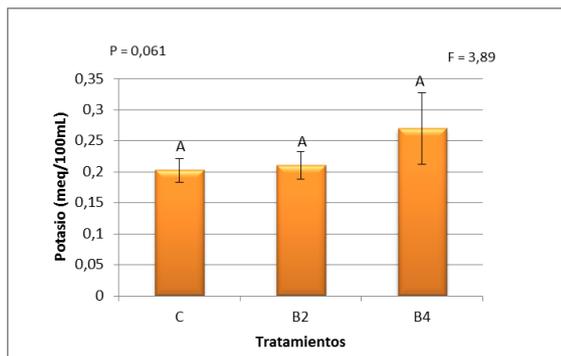
El análisis estadístico en cuanto a los niveles de K entre los tratamientos B2, B4 y C, determina que no existen diferencias significativas ( $p$ -valor  $< 0,061$ ) y comparten el mismo rango en la prueba de Tukey

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	0,01095	0,00548	3,89	0,061
Error	9	0,01268	0,00141		
Total	11	0,02363			

	N	Media	Agrupación
B4	4	0,27000	A
B2	4	0,21000	A
C	4	0,20250	A

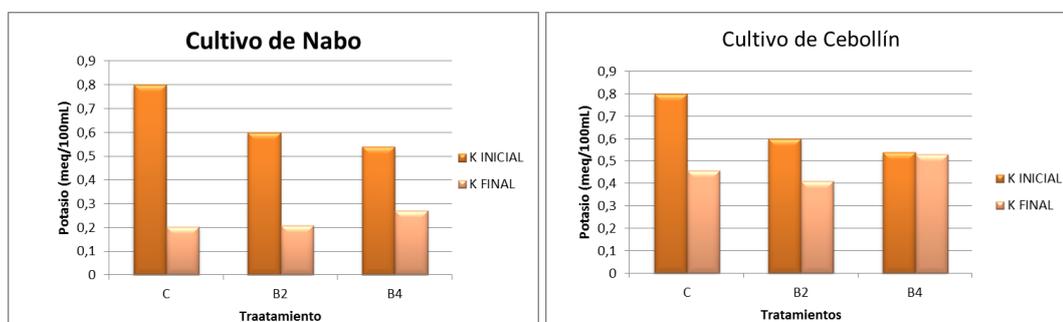
**Tabla 38. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para K de sustrato luego del cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar.**

Elaboración: propia



**Figura 40. Variación de K por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras iguales no determinan diferencias entre tratamientos**

Los niveles de potasio presentes en los tratamientos disminuyen luego de realizado el cultivo tanto de nabo como de cebollín, mismos que se presentan de manera gráfica en las figuras a continuación.



**Figura 41. Variación de K en los tratamientos C, B2 y B4, luego del cultivo de nabo y cebollín.**

### Materia orgánica

Los resultados del análisis de suelo determinan que la cantidad de MO orgánica es alta para todos los tratamientos, lo cual es característico de los suelos negro andino o Andosoles.

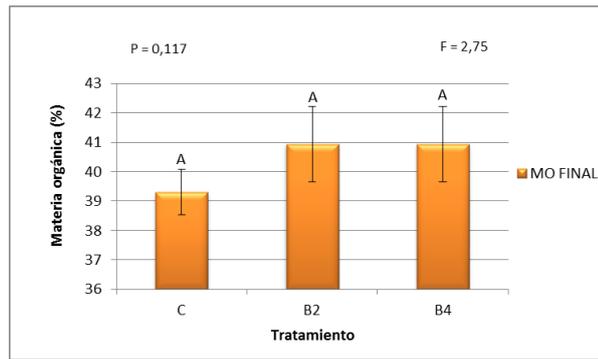
El análisis estadístico determina que no existen diferencias significativas de MO entre los tratamientos.

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Factor	2	7,09	3,54	2,75	0,117
Error	9	11,61	1,29		
Total	11	18,70			

	N	Media	Agrupación
B4	4	40,935	A
B2	4	40,935	A
C	4	39,305	A

**Tabla 39. Esquema de ANOVA y comparación de Tukey, para MO de sustrato luego del cultivo de nabo con diferentes dosis de biochar.**

Elaboración: propia



**Figura 42. Variación de MO por tratamiento, con sus respectivas barras de error estándar. Letras iguales no determinan diferencias significativas entre tratamientos**

#### 4. CAPÍTULO 3: DISCUSIÓN

La producción ambientalmente responsable de alimentos requiere de la conservación de suelos y la protección de ecosistemas, elementos que son trascendentales y estratégicos para la humanidad en estos momentos, sobre todo si la seguridad y soberanía alimentaria dependen de la producción hortícola en Andosoles de cuencas alto andinas que tienen importancia como sustento de procesos ecológicos y servicios ecosistémicos como agua para consumo humano, riego y generación de energía hidroeléctrica, como en la cuenca del río Machángara, por lo que la selección de la alternativa más adecuada para mejorar la productividad en suelos de pH ácido, reviste capital importancia.

Los sistemas de producción hortícolas se caracterizan por la extracción continua de nutrientes del suelo, la disminución del contenido de materia orgánica, del pH y la degradación de la estructura superficial, provocando deficiencias nutrimentales y la continua disminución de la productividad de las parcelas familiares, situación que ha llevado a que los campesinos realicen prácticas de adición de nutrientes mediante la utilización de fertilizantes nitrogenados inorgánicos, que además de resultar poco rentable, encarece los costos de producción si no se hace técnicamente, partiendo de un análisis de suelos, es posible que se realice una sobredosis ó hiperfertilización, pudiendo provocar contaminación de los cuerpos de agua y degradación del suelo (Robledo et al. 2016), además de no resolver el problema de degradación de la estructura de los suelos (Sasal et al 2000), o la disponibilidad de nutrientes, aportan a la alteración del ciclo biogeoquímico del N, constituyéndose los suelos agrícolas en fuente y sumidero de gases de efecto invernadero: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O (García 2016).

Es muy importante la selección e incorporación de los fertilizantes y abonos correctos en los Andosoles de cuencas alto andinas, pues Daza-Torres et al 2008, manifiesta que en un estudio cuando se utilizó gallinaza en suelos de pH ácido, disminuyó la adsorción de P y que el efecto de las enmiendas como cal, gallinaza y compost es temporal ya que al cabo de 10 semanas la adsorción del P por los coloides es igual a los suelos sin enmienda, por otro lado Delgado 2014, indica que en suelos enmendados con gallinaza de paja y de serrín, existió el aporte de metales pesados como el Zn, Cd, Pb y Hg, y que en las lombrices del suelo enmendado se encontraron concentraciones de Cd, Cu, Zn y Hg, por lo que se debe ser muy cuidadoso en la selección y manejo de los materiales a utilizar en las parcelas productivas como enmienda, abonadura y fertilización, sobre todo cuando se trata de hortalizas de consumo directo.

Para la reducción de la acidez existen diversos procesos, dependiendo del tipo de suelo, cultivo y de las condiciones de manejo, siendo los encalados la técnica más utilizadas para

incrementar ó neutralizar el pH a través de la incorporación de sales básicas, que depende de la composición química y pureza del material (Espinoza J y Molina E, 1999) utilizado. En este contexto se buscan alternativas viables técnicamente, plantéandose que el uso de biochar que se caracteriza por tener pH alcalino, como enmienda de suelo ácido para mejorar la productividad, marcaría pautas para generar estrategias que eviten prácticas insostenibles de uso del suelo, particularmente en la agricultura, así como la disminución del impacto ambiental del laboreo y la fertilización y apoyar a que los campesinos conozcan e implementen nuevas tecnologías para incrementar los rendimientos en sus parcelas de la cuenca baja y media que tengan aptitud agrícola, con lo cual la población obtendrá los recursos que necesita para su subsistencia y no demandará la incorporación de nuevas áreas de cultivo, evitándose de esta manera la tala de bosque nativo y quema de pajonal para el incremento de la frontera agrícola, que incide en la pérdida de fuentes hídricas y la disminución del agua en cantidad y calidad, afectando el aprovechamiento múltiple del recurso hídrico que se realiza en la cuenca del río Machángara.

La gestión y uso sostenible del biochar en países subdesarrollados se concibe como una posibilidad de luchar contra la deforestación, pasando de técnicas agrarias de quemas y plantación al denominado “agríchar”, que sería la agricultura que implementa el biochar como enmienda, lucha contra la pérdida de suelo forestal, mejora su fertilidad, evita su empobrecimiento (Lehmann y Stephen 2015, Baskin 2006) e incrementa la productividad de suelos agrícolas y forestales y constituirse en una importante base para el desarrollo económico rural (Schahczenski 2010), lo podría ser uno de los aportes de esta investigación.

Este estudio indagativo se realizó con biochar producido con acícula de pino recolectada en la cuenca alta del río Machángara, que no tenía ninguna utilidad, por lo que estaría en concordancia con lo manifestado por algunos autores entre ellos Lenhmann & Joseph 2009, que creen que entre los objetivos del biochar se pueden considerar: el manejo de residuos, mitigación del cambio climático, producción de energía, mejoramiento del suelo y lo citado por Oses 2013, que reflexiona que es una oportunidad para mejorar la fertilidad del suelo y la eficiencia de los nutrientes a partir del uso de recursos disponibles localmente, obtenidos de materiales renovables por lo que los campesinos con recursos limitados pueden convertir residuos orgánicos y biomasa en biochar, para mejorar la productividad de sus parcelas haciendo un uso sostenible del suelo, creando una verdadera “Revolución Verde de Biochar”.

Fue producido en un horno artesanal de pirólisis, al que se alimentó con 22 libras de acícula y se obtuvo 6,5 libras de biochar, es decir un rendimiento del 30%, que es coincidente con Maguire 2010, que señala que los rendimientos de biochar no suelen exceder el 40% en peso de la materia prima.

El biochar es química y biológicamente más estable que la biomasa de la que se hizo, sus características están determinadas por el material de alimentación, la temperatura máxima de producción, la velocidad de calentamiento, el nivel de oxígeno, presión y tiempo de residencia en el reactor (Cox et al. 2012).

De acuerdo al análisis de laboratorio es alcalino con pH 8,9, concordando con Olmo 2016, quien señala que la mayoría de los biochars son alcalinos con pH superior a 7. Tras la pirólisis aproximadamente el 50% del carbono contenido en la biomasa original puede ser retenido dentro del biocarbón (Atkinson y Fitzgerald 2010), mismo que es altamente resistente a la descomposición, por lo que funciona como un almacén de carbono recalcitrante al ser aplicado como mejorador del suelo, mejora muchas propiedades físico-químicas como su contenido en carbono, su capacidad de retención hídrica y la capacidad de intercambio iónico, que lo hace ser un reservorio de nutrientes de liberación lenta (Tortosa 2015), no se transforma en CO<sub>2</sub> fácilmente, contribuyendo a disminuir la concentración de éste gas en la atmósfera, por lo que podría ser considerado como un inhibidor del cambio climático (Amonette 2009), siendo una herramienta importante para la gestión ambiental que va más allá del uso en la producción agrícola por si sola (Schahczenski 2010).

Dependiendo de la dosis aplicada al suelo, puede ejercer un efecto similar al encalado, con la ventaja de aportar carbono (Schahczenski 2010), logrando mejorar la calidad del suelo, la eficiencia de los fertilizantes y la producción de un amplio rango de especies agronómicas (Olmo 2016) por lo que para determinar si la adición de biochar a un andosol incrementa el pH del suelo y mejora la producción en los cultivos de nabo y cebollín se preparó dos sustratos: B2 mediante la mezcla de 20 g de biochar y 1 Kg de suelo y para B4 se adicionó 40 g de biochar a 1 Kg de suelo.

A pesar del biochar producido ser alcalino, la incorporación de éste al suelo negro andino para formar los diferentes sustratos no implicó la disminución de la acidez, por el contrario se incrementó con respecto al pH original del andosol que de pH 4,9 bajó a pH 4,4 y 4,5 para los sustratos B2 y B4 respectivamente, que es contrario a lo manifestado por Lehman 2011, Abenza 2012, Cox et al. 2012 y Nates 2014, que sostienen que la adición de biochar al suelo incrementa el pH; por lo que al seleccionar la materia prima para la elaboración de biochar se debe considerar lo manifestado por Lehmann et al 2006 que señala que no todos los residuos agrícolas y forestales resultan adecuados para la producción de biochar destinado a la aplicación en agricultura, complementándose con lo citado por Abenza 2012 que indica que los efectos del biochar difieren sobre las propiedades del suelo, en función del tipo de suelo, de la materia prima y el proceso por el cual fue producido el biochar, debiendo ser cuidadosamente seleccionados para su uso en suelos hortícolas.

Sin embargo luego de un ciclo de cultivo de nabo y cebollín los resultados de los análisis se los sustratos utilizados para la producción, mostraron que para B2 y B4 existe una ligera

disminución de la acidez, que es concordante con lo manifestado por Espinosa 2008, que enfatiza que los Andosoles poseen una alta capacidad tampón o resistencia al cambio de pH, debido a que las arcillas resultantes de la meteorización de las cenizas volcánicas (alofana, imogolita y complejos humus-Al) tienen una superficie muy reactiva, que permite que se incrementa la CIC, lo cual obliga a utilizar cantidades muy altas de enmienda para llegar a pH 7.0.

Para el tratamiento control C, se incrementó la acidez luego del cultivo, lo cual está acorde a lo manifestado por Espinosa y Molina 2012, que señalan que la acidificación del suelo se inicia debido a la acción de las raíces de las plantas en el proceso productivo, que absorben cationes básicos como  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y libera  $H^+$  para mantener el equilibrio en su interior, lo que contribuye a la reducción del pH del suelo, además el movimiento de cationes hacia capas inferiores (lixiviación) contribuye a la acidificación del suelo al arrastrar cationes del perfil del suelo con el movimiento del agua, y dado que durante todo el ciclo de cultivo se aplicó riego, son totalmente lógicos los resultados y concordantes con lo manifestado por Jaramillo 2012 que indica que los andosoles en condiciones de alta humedad pueden desarrollar extrema acidez y lo citado por Urrego 1996 quien señala que donde las precipitaciones son intensas se produce el lavado de bases en el suelo, y por percolación se pierden los elementos que le dan alcalinidad, tendiendo el suelo a la acidez, a lo que se suma la actividad radicular, la nitrificación y la acumulación de la materia orgánica. Todo esto parece indicar que bajo esta dinámica el suelo con cada ciclo de cultivo podría tener una mayor acidificación y una menor CIC, lo que es posible que influya en la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes necesarios para mantener una buena productividad, con lo cual los costos de producción se incrementan y probablemente los campesinos van a preferir ampliar la frontera agrícola a incurrir en erogaciones económicas.

Otro factor a considerar para la acidificación del tratamiento C es el contenido de MO (39,06%) del Andosol utilizado en el experimento, que al ser mineralizada aporta aniones como nitrato ( $NO_3^-$ ), sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) y cloruro ( $Cl^-$ ), que son los que arrastran cationes básicos del perfil del suelo al formar los respectivos pares iónicos (Espinosa y Molina 1999).

La adición de biochar no representó diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a los niveles de N luego del cultivo de nabo, sin embargo al comparar entre el contenido de N en los sustratos antes de los cultivos de nabo y cebollín y luego de éstos, se observa que existe incremento de éste elemento, posiblemente porque existió algún tipo de incubación o desarrollo de micelio por el tipo de macetas utilizadas en el ensayo, pues si bien con la adición de biochar se incrementa la disponibilidad de N como lo manifiesta Nates 2014, este puede no ser necesariamente beneficioso para los cultivos (García et al. 2014), porque dependiendo de la biomasa original puede no estar realmente disponible para las plantas (Mašek y Brownsort 2011) a pesar de que exista incremento en el sustrato o resultar ineficaz en la retención de nutrientes y ser susceptible a la degradación

microbiana (McHenry, 2009). El contenido en nitrógeno del biochar es generalmente bajo debido a que se produce una combustión de la biomasa (Schahczenski 2010).

### **Productividad en el cultivo de Nabo**

La fertilidad es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas que determinan la capacidad del suelo para sostener el desarrollo de la vegetación, está asociada al contenido de materia orgánica (Arellano G 2012).

Del análisis del comportamiento de la parte aérea de la planta durante el ciclo de cultivo, se encontró que durante los primeros 15 días presenta mayor desarrollo los tratamientos con biochar B2 y B4, en el período entre los 30 y 45 días tienen un desarrollo similar todos los tratamientos, en tanto que a partir de los 60 días y hasta la madurez fisiológica del cultivo es el tratamiento control C el que presenta mayor desarrollo, es decir el aporte de biochar solo significó un impulso al desarrollo del cultivo durante los primeros estadios, siendo probablemente necesario adicionar nutrientes a partir de los 60 días, que permita mejorar la disponibilidad de macro y microelementos y con ello incrementar los rendimientos en los tratamientos con biocarbón al apoyar éste al incremento en la eficiencia de los nutrientes como manifiesta Olmo 2016, pues investigaciones realizadas en Japón encontraron que el N en Andisoles se mineraliza a la mitad de la velocidad que otros suelos (Jaramillo 2012), Kimetu et al 2008, indicó que la relación C/N es alta en los materiales leñosos y la liberación de nitrógeno es disminuida o nulificada, lo cual podría estar relacionado con el aporte de biochar de acícula de pino que influiría en la asimilación de N por parte de las plantas de los tratamientos B2 y B4, repercutiendo al parecer en la producción, lo cual concuerda con los datos de producción que muestran que el tratamiento control generó la mayor biomasa, en tanto que el tratamiento B4 es el que presenta menor rendimiento, posiblemente por el poco aporte de N por parte del biochar que tiene un contenido medio de N, pero que al ser mezclado con el andosol se torna en bajo, sin embargo la cantidad de MO en el andosol o tratamiento C es mayor y dado que el N de la materia orgánica es de lenta liberación hace que se aumenta la eficacia (León y Gómez 1986), siendo probablemente la razón de la mayor producción del tratamiento C, sin embargo al final del ciclo de cultivo se incrementa aunque no de manera significativa la cantidad de N y MO, de allí que sería interesante realizar nuevas indagaciones que involucren por más de un ciclo de cultivo al mismo sustrato.

Otro de los aspectos que se debería considerar es que con la adición de biochar se mejora el hábitat de micorrizas y bacterias (Atkinson y Fitzgerald 2010, Cox et al 2012), aumentando por tanto, la cantidad de nitrógeno requerido por la población microbiana (Orozco, 7; Russell y Rusell, 8).

El P es normalmente el mayor limitante en la producción con niveles de retención que supera el 90%, siendo los suelos de clima frío con mayor materia orgánica los que pueden tener mayor fijación P (Jaramillo 2012) y dado que los sustratos utilizados para la investigación corresponden a suelo de páramo, con contenidos de materia orgánica superior al 39,1%, podría ser la razón para esos niveles de producción, ya lo manifestó Sadeghian S, 2012, que la disponibilidad de los nutrientes del suelo para las plantas depende de la cantidad y la naturaleza de estos en la solución del suelo, y su asociación con los nutrientes adsorbidos o contenidos en la fase sólida.

El nivel de fósforo luego de la producción de nabo disminuye ligeramente en todos los tratamientos, lo cual puede ser debido a que la aplicación del biochar generó reducción de la lixiviación de nutrientes poniéndolo a disposición de las plantas, que de otra manera no hubiese podido ser absorbido por el cultivo (Schahczenski 2010), sin embargo el control mantiene el mayor nivel, lo que podría estar relacionado con la mayor productividad presentada durante este ciclo de cultivo.

#### **Productividad en el cultivo de Cebollín**

Los resultados reportados para la biomasa del cultivo de cebollín con diferentes dosis de biochar B2, B4 y el control C, muestran que el tratamiento B2 generó la mayor producción de biomasa, seguido del tratamiento con B4 y con la menor producción el tratamiento control, lo cual está de acuerdo con la hipótesis planteada, en cuanto a que la incorporación de biochar de acícula de pino al ser un elemento alcalino, podría incrementar la biomasa.

Se encontró que el incremento de la biomasa no está en relación directa con la cantidad de biochar adicionado, es así que la biomasa y el número de macollos fue superior en el tratamiento B2, lo que concuerda con lo manifestado por varios autores entre ellos Nates 2014, que indica que la adición de biochar como enmendador del suelo mejoró ligeramente la calidad de los frutos del cultivo de uvilla y que se encontró mayor peso para el tratamiento que se aplicó 3.5 ton de biochar en comparación con el que se aplicó 8 ton que tuvo menor rendimiento.

Es importante resaltar lo citado por Nates 2014 en torno a que diferentes estudios realizados con aplicación de biochar al suelo se ha confirmado que el biochar favorece la actividad de diferentes microorganismos importantes en la agricultura, generalmente después de más de un año de la adición de biochar al suelo, siendo posiblemente la razón por la cual no se vieron mayores impactos en la investigación que se realizó durante un ciclo de cultivo en un período inferior al citado.

Realizar la aplicación de biochar de acícula de pino en el cultivo de cebollín produjo incremento ligero de biomasa para el tratamiento B2, en tanto que para el cultivo de nabo repollo o col china, no existió incremento de producción de los tratamientos con biochar,

siendo el control el que presentó la mayor biomasa, lo que está en concordancia con lo manifestado por Abenza 2012, que señala las respuestas de los cultivos a la adición de biochar son muy variables.

## 5. CONCLUSIÓN

Las respuestas de los cultivos a la adición de biochar son muy variables, sin embargo se produjo un mayor crecimiento de la parte aérea de la planta de nabo durante los primeros 15 para los tratamientos B2 y B4, para a partir de los 60 días y hasta la cosecha ser el testigo el que presente el mayor desarrollo, por lo que se podría manifestar que las bases catiónicas impiden el mejoramiento de la productividad de nabo pero no de cebollín que se presenta más resistente a la acidez de los Andosoles.

La adición de un elemento alcalino como el biochar de acícula de pino, a un suelo andosol, no implica necesariamente la disminución de la acidez del suelo como usualmente sucede con la adición de  $\text{CaCO}_3$ , sin embargo aporta a que no se incremente la acidez cuando este es sometido al proceso productivo de manera continua, por lo que debe realizarse estudios para determinar el poder de neutralización del biochar de acícula de pino ante la acidez de los Andosoles y así constituirse en un aporte al desarrollo productivo. También deber realizarse mayores investigaciones en cuando a la combinación de biochar y fertilizantes, que permitan establecer las mejores dosis para incrementar la productividad para el cultivo de hortalizas, así como los factores que aporten una mayor disponibilidad de nutrientes en el sistema suelo-biochar-planta y la comprensión de como el biochar afecta este proceso.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza P. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Tesis de Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España. (TESIS)
- Aichholzer F, Durán W. 2010. Caracterización y comportamiento de ecosistema de páramo bajo la influencia de bosque de pino (*Pinus patula*) bosque nativo y de pajonal. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.
- ACOTECNIC Asociación de Consultores Técnicos. 2013. Plan de Manejo Integral de la Subcuenca del Río Machángara. Diagnóstico del componente de Ecología.
- Ahmed H, Schoenau J. 2015. Effects of Biochar on Yield, Nutrient Recovery, and Soil Properties in a Canola (*Brassica napus* L) - Wheat (*Triticum aestivum* L) Rotation Grown under Controlled Environmental Conditions. *BioEnergy Research.*, 8:1183–1196. En línea. < <http://link.springer.com/article/10.1007/s12155-014-9574-x>>. Consulta: 12 de octubre de 2016.
- Alcañiz J, et al. 2014. Algunos efectos de un biocarbón (biochar) de pino sobre la producción y calidad de la uva. Conference Paper. En línea, <[https://www.researchgate.net/publication/269702464\\_Algunos\\_efectos\\_de\\_un\\_biocarbón\\_biochar\\_de\\_pino\\_sobre\\_la\\_produccion\\_y\\_calidad\\_de\\_la\\_uva](https://www.researchgate.net/publication/269702464_Algunos_efectos_de_un_biocarbón_biochar_de_pino_sobre_la_produccion_y_calidad_de_la_uva)>. Consulta: 29 de septiembre de 2016.
- Alonso M, Arteaga Y, Carballo L, Geada G, García Y, Castillo I. 2013. Efectos del biocarbón en las propiedades físicas de diferentes sustratos orgánicos. *Revista Cubana de Ciencias Forestales. FORES.* 1(1):12-22
- Amonette J. 2009. An introduction to biochar: Concept, processes, properties, and applications". *Harvesting Clean Energy 9. Special Workshop. USA*
- Arellano G. 2012. Producción agropecuaria, medio físico y social en el sector Wintza. Parroquia Toacazo. Tesis de Ingeniería en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable con Mención en Ordenamiento Territorial. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Atkinson C, Fitzgerald J. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil. Springer.* 337:1–18. En

línea, <http://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0464-5#page-1>.  
Consulta: 8 de julio de 2016.

Bartra A, et al. 2014. *Agriculturas campesinas en Latinoamérica: propuestas y desafíos*. Instituto de Altos Estudios Nacionales (IAEN). Quito, Ecuador.

Baskin Y. 2006. *Slash-and-char improves Amazonian soil*. *BioScience* 56, 368.

Bricks S. 2010. *Biochar: assessing the promise and risks to guide U.S. Policy*. Natural resource defense council. USA. En línea, [http://www.nrdc.org/energy/files/biochar\\_paper.pdf](http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf). Consulta: 1 de marzo de 2016.

Cárdenas I. 2014. *Impacto de las prácticas agropecuarias y forestales sobre las propiedades físico-químicas de los suelos andinos del sur del Ecuador*. Tesis de Magister en Agroecología y Ambiente. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.

Cox J et al. 2012. *Biochar in horticulture: Prospects for the use of biochar in Australian horticulture*. HAL report. ISBN 978 1 74256 349 7.

Chavarriaga W, et al. 2015. *Fraccionamiento y dinámica de la materia orgánica en suelos de agroecosistemas andinos en el departamento de Caldas Colombia*. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. En línea, <http://www.secsuelo.org/wp.../5-Fraccionamiento-y-dinamica-de-la-MO-Chavarriaga-W.pdf>. Consulta: 26 de septiembre de 2016.

Dufimir M. 2014. *Agricultura campesina en Latinoamérica. Propuesta y desafíos. Agriculturas familiares, fertilidad de los suelos y sostenibilidad de los agroecosistemas*. Quito, Ecuador.

Escalante M. 2013. *Biocarbones Caracterización y efecto en la biomasa y nutrición de N, P, K en una gramínea*. Tesis de Doctora en Ciencias.

Espinosa J. 2008. *Distribución Uso y Manejo de los suelos de la región Andina*. Memorias del Décimo Primer Congreso ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito – Ecuador.

Espinosa J. 2012. En línea, [http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/Awareness/Documents/calendar2012/March2012\\_ES.pdf](http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/Awareness/Documents/calendar2012/March2012_ES.pdf). Consulta: 1 marzo de 2016.

FAO, 2009. *Situación de los bosques del mundo 2009*. En línea, <http://www.fao.org/docrep/011/i0350s/i0350s00.htm>. Consulta: 9 de abril de 2016.

- FAO, 2009. Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca. En línea, <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142s00>. Consulta 9 de abril de 2016.
- FAO 2016. Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos Actualización 2015. En línea, <http://www.fao.org/documents/card/en/c/2d6de17c-85fa-4785-9935-fc2156c836c2/>. Consulta 25 de septiembre de 2016.
- F. Fornes, A. Janackova, M. Sánchez-Perales y R. M. Belda1. 2013. Materia orgánica carbonizada como componente de sustrato para el cultivo en contenedor, IIV Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. SEAgIngSECA. C0167.
- Gaskin J.W, Steiner C, Harris K, Das K.C, Bibens B.2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. ASABE 51: 2061-2069.
- Gaskin J.W, Speir R, Harris K, Das K, Lee, Morris L, Fisher D. 2010. Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield. Agronomic Journal. Volume 102, Issue 2 – 2010.
- García H. 2013. Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el Páramo de Santurbán. Bogotá – Colombia. Informe presentado a Abt Associates INC. Contract Number: EEM-I-00-07-00004. Task Order Number: AID-OAA-TO-11-00041.
- García C, e al. 2014. De Residuo a Recurso, El camino hacia la sostenibilidad. 8 Enmiendas orgánicas de nueva generación: Biochar y otras biomoléculas. Red Española de Compostaje. Madrid – España. Ediciones Mundi - Prensa
- Guamán J, Tacuri M. 2014. Estudio de la demanda de productos hortícolas en los hogares de la ciudad de Cuenca y su relación con la producción de la parroquia San Joaquín Bajo. Tesis de Ingeniero Comercial. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador.
- Harden C, Farley K, Bremer L, Hartig J. 2015. Servicios ambientales ecosistémicos y cambio en el uso del suelo en el páramo. En línea, [http://www.cordilleratropical.org/files/.../Harden\\_et\\_al\\_2015\\_Servicios\\_Ambientales.pdf](http://www.cordilleratropical.org/files/.../Harden_et_al_2015_Servicios_Ambientales.pdf); [http://www.cordilleratropical.org/files/papers/Harden\\_et\\_al\\_2015\\_Servicios\\_Ambientales.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec](http://www.cordilleratropical.org/files/papers/Harden_et_al_2015_Servicios_Ambientales.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=ec). Consulta: 6 de junio de 2016.

- Hernandez F. 2016. El Cultivo del Cebollín en Zonas Tropicales. En línea, <[http://www.agro-tecnologia-tropical.com/el\\_cultivo\\_del\\_cebollin.html](http://www.agro-tecnologia-tropical.com/el_cultivo_del_cebollin.html)>. Consulta: 11 de junio de 2016.
- Hidalgo F. 2014. Agricultura campesina en Latinoamérica. Propuesta y desafíos. Contextos y tendencias de las agriculturas en Latinoamérica actual. Quito, Ecuador.
- Ibañez J, Manriquez F. 2011. Andosoles Uso y Manejo. En línea, <<http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/12/20/140649>>. Consulta 20 de septiembre de 2016.
- IBI (International Biochar Initiative). IBI Technical Bulletin # 104. Guía Básica para ensayos de bichar en el suelo. En línea <<http://www.biochar-international.org/publications/IBI>>. Consulta: 30 de abril de 2016.
- INFOAGRO. Sistema de información y comunicación del sector agropecuario costarricense. El cultivo de la col china. En línea. <<http://www.infoagro.com/hortalizas/colchina.htm>>. Consulta: 11 de junio de 2016
- Karhu K, Mattila T, Bergstrom I, Regina K. 2010. Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity—results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. ELSEVIER., 140.1 (2011): 309-313.
- Kimetu J.M, Lehmann J, Ngoze, S.O. et al. 2008. Reversibility of Soil Productivity Decline with Organic Matter of Differing Quality Along a Degradation Gradient. *Ecosystems* (2008) 11: 726. doi:10.1007/s10021-008-9154-z
- Lehmann J, Gaunt, Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems. A review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (11): 403–427.
- Lehman J. y S Joseph, 2009. Biochar for Environmental Management. Science and technology Earthscan. United Kingdom and United States.
- Lehman J. 2010. A future for Biochar in Vermont. Biochar Seminar. August 2010. En línea, <<http://www.biocharinternational.org/board/advisorycommittee%22%20%5Cj%20%22johannes>>. Consulta: 25 de abril de 2016.
- Lehmann J, Rilling M, Thies J, Msiello C, Hockaday W, Crowley D. 2011. Biochar effects on soil biota a review. *Soil Biology and Biochemistry* (43): 1863 pp. En línea, <http://lira.pro.br/wordpress/wp-content/uploads/downloads/2011/09/lehmann-et-al-2011.pdf>. Consulta: 10 de octubre de 2016.

- Lehmann J y Stephen J. 2015. Biochar for environmental management: science, technology and implementation. Routledge. En línea, <http://www.biochar-international.org/projects/book..> Consulta: 07 de mayo de 2016.
- León P y Gómez J. 1986. Efecto de la gallinaza y del estiércol bovino frescos sobre la producción forraje de la gramínea King Grass (*Pennisetum purpureum* x *P. americanum* Burton) en un andosol de Cajibío – Cauca. *Acta Agron.* vol. 36(2) 177-184-1986.
- Libra J, Ro K, Kammann C, Funke A, Berge N, Neubauer Y, Titirici M, Fühner C, Bens O, Kern J, Emmerich K. 2011. Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry, processes and applications of wet and dry pyrolysis. *Biofuels*, 2: 89-124.
- Liu 2015: Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de *Rosmarinus officinalis* L en vivero profesional. Tesis de Ingeniero Forestal y del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- López D. 2012. Acumulación de hojarasca en *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc y su relación a variables climáticas. Tesis de Ingeniero forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Navarro. Saltillo, México.
- Maguire R, Foster A. 2010. Biochar in Agricultural Systems. VirginiaTech. Publication 442-311.
- Marroquín J. 2012. Andosoles. En línea, [http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/Awareness/Documents/calendar2012/March2012\\_ES.pdf](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/Awareness/Documents/calendar2012/March2012_ES.pdf). Consulta: 1 marzo de 2016.
- Major J. 2010. Biochar for soil quality improvement, climate change mitigations and more, a literature review. En línea <http://www.biochar-international.org>. Consulta: 18 mayo de 2016.
- Major J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. International Biochar Initiative. En línea, <http://www.biochar-international.org>. Consulta: 5 de mayo de 2016.

- Major J. 2011. Biochar for soil quality improvement, climate change mitigation and more. En línea [http:// biochar-atlantic.org/assets/pdf/BiocharSoilFertility.pdf](http://biochar-atlantic.org/assets/pdf/BiocharSoilFertility.pdf). Consulta: 3 de agosto de 2016.
- Martínez C. 2015. Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en Cucumis sativus L. Var. SMR-58. En línea, <http://www.agronuevoleon.gob.mx/oeidrus/hortalizas/3suelo.pdf>. Consulta: 15 de noviembre de 2016
- Muñoz J, et al. 2011. Propiedades físicas de un Andosol Mólico bajo labranza de conservación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. P 151 – 162. En línea <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/1018/984>. Consulta: 16 de septiembre de 2016.
- Morales J, et al. 2013. Rendimiento de papa con fuentes de fertilización mineral en un Andosol del Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.4 Núm.6 14 de agosto - 27 de septiembre, 2013 p. 881-893. En línea. <<http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/1018/984>>.Consulta: 26 de noviembre de 2016.
- Muñoz J, et al. 2012. Patrón estructural multiescalar de un suelo andosol y su dinámica en función del manejo.
- Nates E. 2014. Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva (Physalis peruviana L.). Tesis de Biología. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Osés A. 2013. Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. Tesis de Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.
- Olmo M. 2016. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. Córdoba, España. En línea <<http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13381?show=full>>. Consulta: 15 de agosto de 2016.
- Prat Pérez L. 1981. Importancia de la reacción del suelo. Acidez: pH. Necesidad de Cal. Temas de Divulgación. IOATO. Salamanca, España.
- Podwojewski P. 1999. Los suelos de las altas tierras andinas: Los páramos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del suelo. Quito – Ecuador.

- Podwojewski, P, Poulenard, J. 2000. Los suelos del páramo del Ecuador. En los suelos del Páramo. GTP. Abaya - Yala. Quito, Ecuador. 5 – 26.
- Preston T. 2013. El papel del biocarbono en la sostenibilidad y competitividad de sistemas agropecuarios. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias.*, 26:304-312.
- Petter F, Marimon B, Andrade F, Schossler T, Gonçalves L, Schwantes M. 2012. Biochar como condicionador de sustrato para la producción de mudas de alface. *Agrarian ISSN*, 5.17 (2012): 243-250.
- Ramírez M, et al. 2014. Tamaño del bulbillito y concentración de ácido naftalenacético en el crecimiento vegetativo y rendimiento del cebollín (*Allium fistulosum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía. (LUZ)*. 2014, Supl. 1: 260-269. En línea <[http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento\\_2014/bot/botsupl12014260269e.pdf](http://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_2014/bot/botsupl12014260269e.pdf)>. Consultado: 3 de mayo de 2016.
- Robelleto A, et al. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382. En línea, <http://132.248.10.25/terra/index.php/terra/article/view/155>. Consultado: 05 de agosto de 2016.
- Sadeghian S, 2012. Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias – Area Agraria. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. En línea <http://www.bdigital.unal.edu.co/5723/1/16077856.2012.pdf>. Consultado: 5 de noviembre de 2016.
- Sohi S, López-Capel E, Evelyn K, Bol R. 2009. Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. CSIRO Land and Water Science Report 05/09, 64 pp.
- Schahczenski J. 2010. Biochar and sustainable agriculture. *ATTRA-National Sustainable Agriculture Information Service*. En línea <http://www.attra.ncat.org>. Consultado: 21 de mayo de 2016.
- Sasal C, Andriulo A, Ulle J, Agregó F, Bueno M. 2000. Efecto de diferentes enmiendas sobre algunas propiedades edáficas en sistemas de producción hortícola del centro norte de la región papayana húmeda. *Ciencia del suelo. AACS*, 18 (2) 2000.
- Tortosa G. 2015. Biochar. En línea <http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/>. Consultado: 30 de diciembre de 2016.

Uzoma, K, Inoue<sup>1</sup> M, Andry H, Fujimaki H, Zahoor A, Nishihara A. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *British Society of Soil Science. Soil use and management*. 27.2 (2011): 205-212.

Verheijen F, Jeffery S, Bastos C, van der Velde M, Dias I. 2010. *Biochar Application to Soils, A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. European Communities. Joint Research Centre Institute for Environment, Sustainability. Luxemburgo.

Villamagua M, Valarezo L, Valarezo C, Ramón C. 2013. Efecto de granulometrías de biocarbon sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate *Solanum lycopersicum*, bajo invernadero. *Comité Editorial*, 3(1), 93. En línea.  
<[https://scholar.google.com.ec/scholar?start=10&q=biochar+en+productividad&hl=es&as\\_sdt=0,5&as\\_ylo=2012](https://scholar.google.com.ec/scholar?start=10&q=biochar+en+productividad&hl=es&as_sdt=0,5&as_ylo=2012)>. Consulta: 05 de agosto de 2016