UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE RUIBARBO (*Rheum rhabarbarum* L.) CON LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN ACTIVADO CON TRES NIVELES DE GALLINAZA EN AMBIENTE PROTEGIDO EN EL MUNICIPIO DE ACHOCALLA.

Por:

Sandra Sofia Calle Achu

EL ALTO – BOLIVIA

Junio, 2024

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE RUIBARBO (*Rheum rhabarbarum* L.) CON LA APLICACIÓN DE BIOCARBÓN ACTIVADO CON TRES NIVELES DE GALLINAZA EN AMBIENTE PROTEGIDO EN EL MUNICIPIO DE ACHOCALLA.

Tesis de Grado presentado como requisito para optar el Título de Ingeniera Agrónoma

Sandra Sofia Calle Achu

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez .....

Lic. Ing. Ruben Richard Paco Flores .....

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. David Luis Callisaya Gutierrez .....

Lic. Ing. Freddy Ayala Huaraca .....

Lic. Ing. René Rolando Tambo Herrera .....

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador .....

DEDICATORIA:

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre, pues sin ella no lo habría logrado. Por su sacrificio y esfuerzo y por creer en mi capacidad, siempre ha estado brindándome su comprensión y su cariño y amor.

A mi amado hijo Ian por ser mi fuente de motivación e inspiración para así poder luchar para un futuro mejor.

A mi tío Jorge Calle Valeriano (†) su apoyo y estimulo constante que desde el cielo me ilumina para seguir adelante con mis proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Señor Dios, tu amor y tu bondad no tiene fin. Me permite sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, y cuando caigo y me pones a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta que los pones al frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras.

Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco madre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

Gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi persona.

A mi familia quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.

Agradezco a todos mis asesores y tribunales por su orientación, colaboración y por guiarme durante el proceso de investigación del presente trabajo.

Agradezco a la institución de Agroforestería andina Ave María del municipio de Achocalla por la confianza y el apoyo y la confianza a mi persona como tesista.

Y mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se hiciera realidad.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS i
ÍNDICE DE TABLAS vi
ÍNDICE DE FIGURAS viii
ÍNDICE DE ANEXOS x
ABREVIATURAS xi
RESUMEN xii
ABSTRACT xiii

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. Antecedentes 2
1.2. Planteamiento del problema 3
1.3. Justificación 4
1.4. Objetivos 5
1.4.1. Objetivo general 5
1.4.2. Objetivos específicos 5
1.5. Hipótesis 6
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 7
2.1. Cultivo de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.) 7
2.1.1. Historia y origen 7
2.2. Usos 7
2.3. Usos alternativos 7
2.3.1. Usos medicinales 7
2.4. Taxonomía y descripción botánica 8
2.4.1. Clasificación taxonómica 8

2.4.2. Descripción botánica 8
2.5. Importancia económica de ruibarbo 10
2.5.1. Mercado internacional 10
2.5.2. Mercado nacional 11
2.6. Características químicas y nutricionales de ruibarbo 12
2.7. Requerimientos climáticos y edáficos 13
2.7.1. Clima 13
2.7.2. Suelo 14
2.8. Métodos de propagación 14
2.8.1. Propagación sexual de ruibarbo 14
2.8.2. Propagación asexual de ruibarbo 15
2.9. Labores de campo 16
2.9.1. Fertilización 16
2.9.2. Cosecha 17
2.10. Plagas y enfermedades del ruibarbo 17
2.10.1. Plagas 17
2.10.2. Enfermedades 17
2.11. Abonos orgánicos 18
2.12. Tipos de abonos orgánicos 19
2.12.1. Abono natural 19
2.12.2. Abono fabricado 19
2.13. La gallinaza como abono orgánico 19
2.14. Biocarbón 21
2.15. Biocarbón activado 22
2.16. Materia prima para la producción de biocarbón 23
2.17. Importancia del biocarbón en la agricultura 23

3. MATERIALES Y MÉTODOS 24
3.1. Localización 24
3.1.1. Ubicación Geográfica 24
3.1.2. Características Edafoclimáticas 25
3.1.2.1. Clima 25
3.1.2.2. Suelo 25
3.2. Materiales 25
3.2.1. Material vegetal 25
3.2.2. Insumo 25
3.2.3. Material de escritorio 25
3.2.4. Material de campo 26
3.2.5. Material de laboratorio 26
3.3. Diseño Metodológico 26
3.3.1. Enfoque 26
3.3.2. Tipo de Investigación 27
3.3.3. Diseño de la investigación 27
3.3.3.1. Diseño experimental 27
3.3.3.2. Factores de estudio 28
3.3.3.3. Características del campo experimental 29
3.3.3.4. Croquis experimental 30
3.3.4. Método de investigación 30
3.3.5. Población y muestra 30
3.3.6. Técnica de investigación 31
3.3.7. Instrumentos para la recolección de información 31
3.3.8. Variables 32
3.3.8.1. Variables agromorfológicas 32

3.3.8.2. Variables económicas 33
3.3.9. Operacionalización de variables 35
3.4. Procedimiento experimental 36
3.4.1. Instalación del área experimental 36
3.4.2. Elaboración de biocarbón 36
3.4.3. Obtención de la gallinaza 37
3.4.4. Aplicación de biocarbón y gallinaza 37
3.4.5. Obtención de hijuelos de ruibarbo 38
3.4.6. Trasplante de hijuelos 38
3.4.7. Refalle 39
3.4.8. Manejo del cultivo 39
3.4.8.1. Registro de temperatura 39
3.4.8.2. Remoción de suelo 39
3.4.8.3. Desmalezado 40
3.4.8.4. Riego 40
3.4.8.5. Cosecha 41
3.4.9. Registro de datos cuantitativos 41
3.4.10. Análisis estadístico de las variables de respuesta 41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42
4.1. Temperaturas 42
4.2. Análisis de suelo 43
4.3. Porcentaje de prendimiento 44
4.3.1. Análisis de varianza 44
4.3.2. Prueba de Duncan para porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo 45
4.4. Altura de planta 47
4.4.1. Análisis de varianza 47

4.4.2. Prueba de Duncan para altura de planta de ruibarbo 48
4.5. Número de hojas por planta 50
4.5.1. Análisis de varianza 50
4.5.2. Prueba de Duncan para número de hojas de ruibarbo por planta 51
4.6. Diámetro de peciolo 54
4.6.1. Análisis de varianza 54
4.6.2. Prueba de Duncan para diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo 55
4.7. Longitud de peciolo 57
4.7.1. Análisis de varianza 57
4.7.2. Prueba de Duncan para longitud de peciolo en hojas de ruibarbo 58
4.8. Rendimiento de materia verde (Kg/m^2) 60
4.8.1. Análisis de varianza 60
4.8.2. Prueba de Duncan para rendimiento de materia verde de ruibarbo 61
4.9. Costos parciales de producción 64
4.9.1. Descripción de los costos 64
4.9.1.1. Ingreso bruto 64
4.9.2. Ingreso neto 66
4.9.3. Relación beneficio costo 67
5. CONCLUSIONES 68
6. RECOMENDACIONES 70
7. BIBLIOGRAFÍA 71
8. ANEXOS 77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Producción estimada de ruibarbo en Chile* 11

Tabla 2. *Valores nutritivos de ruibarbo rojo y verde* 12

Tabla 3. *Contenido de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en estiércol de algunas especies animales* 19

Tabla 4. *Características físicas y químicas de un substrato enriquecido con gallinaza* 20

Tabla 5. *Formulación de tratamientos* 28

Tabla 6. *Características del área experimental* 29

Tabla 7. *Características de la unidad experimental* 29

Tabla 8. *Operacionalización de variables independientes y dependientes* 35

Tabla 9. *Análisis físico químico del suelo, con y sin enmienda de biocarbón, para la multiplicación de ruibarbo* 44

Tabla 10. *Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo* 45

Tabla 11. *Comparación de medias Duncan (0,05) para porcentaje de prendimiento, de acuerdo a tratamientos* 46

Tabla 12. *Análisis de varianza para la altura de planta de ruibarbo bajo niveles de gallinaza y Biocarbón activado* 48

Tabla 13. *Comparación de medias Duncan (0,05) para altura de planta de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos* 49

Tabla 14. *Análisis de varianza para número de hojas por planta de ruibarbo, bajo niveles de gallinaza y Biocarbón activado* 51

Tabla 15. *Comparación de medias Duncan (0,05) para número de hojas de ruibarbo por planta, de acuerdo a tratamientos* 52

Tabla 16. *Análisis de varianza para el diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo, bajo niveles de gallinaza y Biocarbón activado* 54

Tabla 17. *Comparación de medias Duncan (0,05) para diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos* 55

Tabla 18. *Análisis de varianza para longitud de peciolo en hojas de ruibarbo, bajo niveles de Biocarbón activado y gallinaza* 57

Tabla 19. *Comparación de medias Duncan (0,05) para longitud de peciolo en hojas de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos* 58

Tabla 20. *Análisis de varianza para rendimiento de materia verde de ruibarbo, bajo niveles de gallinaza y biocarbón activado* 60

Tabla 21. *Comparación de medias Duncan (0,05) rendimiento de materia verde de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos* 61

Tabla 22. *Costos totales de los tratamientos para el cultivo de ruibarbo por metro cuadrado (m^2)* 65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Partes de la planta de ruibarbo*.....9

Figura 2. *Proceso de obtención de Biocarbón (Biochar)*.....21

Figura 3. *Ubicación del área de investigación* 24

Figura 4. *Croquis de la parcela experimental* 30

Figura 5. *Croquis de la parcela experimental* 36

Figura 6. *Aplicación de Biocarbón (Izquierda) y gallinaza (Derecha) en una unidad experimental*.....37

Figura 7. *Obtención y selección de hijuelos de ruibarbo antes del trasplante*.....38

Figura 8. *Trasplante de hijuelos de ruibarbo en una unidad experimental*.....39

Figura 9. *Aplicación de riego luego del trasplante de hijuelos de ruibarbo*.....40

Figura 10 *Temperaturas máximas y mínimas dentro y fuera del ambiente controlado* 42

Figura 11. *Agrupación de Duncan (0.05) para el porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón*.....46

Figura 12. *Agrupación de Duncan (0.05) para la altura de planta de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón activado*.....50

Figura 13. *Cantidad de hojas de ruibarbo obtenidas en el tratamiento T2 de la investigación* 52

Figura 14. *Agrupación de Duncan (0.05) para número de hojas/planta de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón*.....53

Figura 15. *Registro del diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo* 55

Figura 16. *Agrupación de Duncan (0.05) para diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo, entre niveles de biocarbón y gallinaza.* 56

Figura 17. *Agrupación de Duncan (0.05) para longitud de peciolo de hojas de ruibarbo, entre niveles de biocarbón y gallinaza.* 59

Figura 18. *Registro del peso total de peciolos de ruibarbo con una balanza electrónica.* . 61

Figura 19. *Agrupación de Duncan (0.05) para rendimiento de materia verde de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón* 62

Figura 20. *Registro del peso total de hojas de ruibarbo de un tratamiento con gallinaza y biocarbón activado.* 63

Figura 21. *Gráfico de ingreso neto calculado para cada tratamiento en estudio.* 66

Figura 22. *Gráfico comparativo de la Relación Beneficio Costo calculado para los tratamientos en estudio* 67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento testigo T0 de la investigación 78

Anexo 2. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento T1 de la investigación (3 kg/m^2 de gallinaza y 2 kg/m^2 biocarbón activado) 79

Anexo 3. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento T2 de la investigación (4 kg/m^2 de gallinaza y 2 kg/m^2 biocarbón activado)..... 80

Anexo 4. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento T3 de la investigación (5 kg/m^2 de gallinaza y 2 kg/m^2 biocarbón activado)..... 81

Anexo 5. Fotografías de diferentes etapas de la investigación..... 82

Anexo 6. Fotografías de diferentes etapas de la investigación..... 83

ABREVIATURAS

DCA	Diseño completamente al azar
cm	Centímetro
m	Metro
m^2	Metro cuadrado
mm	Milímetro
Km	Kilómetro
PTDI	Plan Territorial de Desarrollo Integral
msnm	Metros sobre el nivel del mar
°C	Grados Centígrados
ha	Hectárea
t	Tonelada
Σ	Sumatoria

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó durante la gestión 2020, en la comunidad Uypaca, finca de agroforestería Ave María de Achocalla a 40 km de la ciudad La Paz, con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.) con la aplicación de biocarbón activado con tres diferentes niveles de gallinaza en ambiente protegido. Se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones y un total de doce unidades experimentales. Los tratamientos aplicados fueron: T0 testigo, T1 (3 kg/m^2 de gallinaza y 2 kg/m^2 de biocarbón activado), T2 (4 kg/m^2 de gallinaza y 2 kg/m^2 de biocarbón activado) y T3 (5 Kg/m^2 de gallinaza y 2 kg/m^2 de biocarbón activado. El análisis de varianza y la prueba de promedios de Duncan efectuados a las variables: porcentaje de prendimiento, altura de planta, número de hojas por planta, diámetro de peciolo, longitud de peciolo y rendimiento de materia verde; mostró que los tratamientos T3 y T2, influyeron positivamente para la obtención de mayores porcentajes de prendimiento promedio (97 a 100%) y mayor altura de planta promedio (48,06 cm y 39,56 cm), que puede atribuirse al estado fisiológico de las plantas madres y al efecto conjunto de gallinaza y carbón activado existente en el suelo. Con el tratamiento de 40 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón (T2), se obtuvo mayor cantidad de hojas por planta (9 hojas), 3 hojas más que el tratamiento testigo (T0) que no tuvo gallinaza. Los tratamientos T2, T3 y T1, en los que se incluyó gallinaza, presentaron peciolos de similar diámetro con valores comprendidos entre 1,09 y 1,23 cm. Con la dosis de 50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón activado (tratamiento T3) se obtuvo el mayor rendimiento de materia verde en promedio (5,10 kg/m^2), seguido de los tratamientos T2 y T1, que registraron similar rendimiento de materia verde, de 3,13 y 3,03 kg/ha, respectivamente. Asimismo, la diferencia en rendimiento del tratamiento T3 y el tratamiento testigo T0, es de 3,81 kg/m^2, valor importante para la producción de ruibarbo. El análisis de Beneficio Costo de la investigación, muestra que los tratamientos T3 y T0 fueron los más rentables, puesto que, presentan una relación B/C de Bs 1.2 y Bs 1.1, respectivamente. El tratamiento T3, en el que se usó una dosis de 50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón activado, registró la máxima rentabilidad de Bs 1.2, por cada boliviano invertido. De acuerdo a los resultados podemos indicar que a mayores dosis de aplicación de gallinaza/biocarbón activado, mayor es el efecto fisiológico en desarrollo de la planta, que se traduce en un importante incremento de la producción de peciolos de ruibarbo.

ABSTRACT

The research work was carried out during the 2020 administration, in the Uypaca community, Ave María de Achocalla agroforestry farm, 40 km from the city of La Paz, with the objective of evaluating the agronomic behavior of rhubarb (Rheum rhabarbarum L.) with the application of activated biochar with three different levels of chicken manure in a protected environment. The Completely Randomized Design (DCA) was applied, with four treatments and three repetitions and a total of twelve experimental units. The treatments applied were: T0 control, T1 (3 kg/m2 of chicken manure and 2 kg/m2 of activated biochar), T2 (4 kg/m2 of chicken manure and 2 kg/m2 of activated biochar) and T3 (5 Kg/m2 of chicken manure and 2 kg/m2 of activated biochar. The analysis of variance and the Duncan average test were carried out on the variables: Percentage of yield, plant height, number of leaves per plant, petiole diameter, petiole length and yield of green matter; showed that treatments T3 and T2 had a positive influence on obtaining higher percentages of average yield (97 to 100%) and greater average plant height (48.06 cm and 39.56 cm), which can be attributed to the physiological state of the mother plants and the joint effect of chicken manure and activated carbon existing in the soil. With the treatment of 40 t/ha of chicken manure and 20 t/ha of biochar (T2), a greater number of leaves were obtained per plant (9 leaves), 3 more leaves than the control treatment (T0) that did not have chicken manure. Treatments T2, T3 and T1, in which chicken manure was included, presented petioles of similar diameter with values between 1.09 and 1.23 cm. With the dose of 50 t/ha of chicken manure and 20 t/ha of activated biochar (treatment T3), the highest yield of green matter on average was obtained (5.10 kg/m2), followed by treatments T2 and T1, which They recorded a similar yield of green matter, of 3.13 and 3.03 kg/ha, respectively. Likewise, the difference in yield of the T3 treatment and the T0 control treatment is 3.81 kg/m2, an important value for rhubarb production. The Cost Benefit analysis of the research shows that treatments T3 and T0 were the most profitable, since they present a B/C ratio of Bs 1.2 and Bs 1.1, respectively. Treatment T3, in which a dose of 50 t/ha of chicken manure and 20 t/ha of activated biochar was used, recorded the maximum profitability of Bs 1.2, for each boliviano invested. According to the results, we can indicate that the higher the application doses of chicken manure/activated biochar, the greater the physiological effect on plant development, which translates into a significant increase in the production of rhubarb petioles.

1. INTRODUCCIÓN

El ruibarbo (Rheum rhabarbarum L.), es una especie perenne que pertenece a la familia Poligonaceae, es de origen asiático, desde donde se extendió su cultivo a Europa y posteriormente a América. También se ha clasificado como Rheum rhaponticum, Rheum hybridum y hay muchas especies de Rheum relacionadas que no son comestibles. Es una hortaliza de peciolos largos y delgados de color rojo y verde, el peciolo es la pieza comestible de esta planta, aunque también contiene unas hojas de gran tamaño, pero muy acidas y toxicas debido a su contenido de ácido oxálico (oxalatos solubles), que pueden causar intoxicación humana y animal debiendo ser liberadas del peciolo antes de su uso (Bratsch, 2009), la fibra es uno de los beneficios más atractivos a la salud del ser humano, es por esta razón, que la raíz de esta hortaliza es tan popular en la medicina antigua china, debido a que sirve para aliviar malestares estomacales y calmar la constipación (Jauron, 2004).

El consumo está asociado principalmente al mercado europeo y americano, granjas que cultivan bajo techo o en producción forzada, con el objeto de ampliar la época de cosecha a aquellos meses en que disminuye la producción (Bradasic y Arancibia, 2007). Su importancia radica en la utilización como elemento culinario, principalmente en mermeladas, tartas, pasteles, también puede ser usado en platos salados dependiendo de la gastronomía de cada país, también es elegido por sus excelentes propiedades nutricionales, su contenido de vitaminas, proteínas, carbohidratos y minerales. A pesar de la globalización no es fácil encontrarlas en todos los países (Jauron, 2004).

Por su contenido en potasio, es bueno para la prevención de calambres musculares, además, es utilizado contra el estreñimiento debido a sus propiedades laxantes. Al tener bajo contenido en azucares es adecuado para enfermos de diabetes, también conocido como una planta diurética por que ayuda a mejorar la retención de líquidos. Se puede consumir de varias formas, peciolo crudo o ensalada, cosidos en sopas, también como compota o mermelada, en pasteles u otros dulces y ricas salsas. Pero también se utiliza en la producción de vinos.

En los últimos años se ha incrementado la demanda de productos orgánicos en el mercado, las hortalizas juegan un papel muy importante, los diversos hábitos alimenticios recomiendan el consumo de vegetales para promover la salud, ya que representan

alimentos con alto valor nutricional por ser fuente de nutrientes de excelente calidad. En este contexto, el ruibarbo viene a ser una buena opción de producción y consumo.

En Bolivia el consumo y producción de ruibarbo es casi nula y la poca información que se tiene en nuestro medio, no ha permitido que se aproveche las bondades nutricionales y medicinales que ofrece, a esto se suma la poca información de su cultivo a campo abierto y en invernadero para las condiciones edafoclimáticas de La Paz. Para contribuir a generar información primaria respecto al cultivo de ruibarbo en La Paz, se planteó esta investigación que busca identificar una dosis optima de gallinaza asociada a biocarbón activado, para mejorar el desarrollo morfológico y agronómico de esta especie poco conocida en nuestro medio.

1.1. Antecedentes

En trabajos recientes se destaca la investigación realizada por Poma (2017) quien estudió el efecto de diferentes sustratos en la producción de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.) en la localidad de Ventilla El Alto La Paz. En este estudio, se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los resultados del análisis de varianza, indican que se obtuvo un 100% de prendimiento en el tratamiento uno con una proporción 3:1 de turba: arena, asimismo, el tratamiento dos, donde se utilizó humus: arena con la misma proporción se tuvo 83.33 % de prendimiento. Con la proporción 3:1 de humus: arena del tratamiento dos se obtuvo los mejores resultados en la altura de planta que fue de 73.13 cm, con un número hojas/planta de 11 y un diámetro de 2.6 cm. Sin embargo, en el tratamiento cuatro con una proporción de 1:3, la altura de planta alcanzada fue de 67.73 cm, con 10,33 hojas/planta y 2,23 cm de diámetro. De igual manera en el rendimiento y longitud de peciolo se destaca el tratamiento dos con una proporción 3:1 obteniendo 3,8 kg/m^2 de rendimiento y para la longitud del peciolo se llegó a 54.47 cm. En conclusión, las diferentes proporciones de sustrato, influyeron en todas las variables de respuesta como el porcentaje de prendimiento, altura de planta, numero de hojas/planta, longitud de peciolo y el rendimiento.

Entre marzo de 2002 y mayo de 2005, se ejecutó el proyecto “Introducción, desarrollo y recolección de variedades de ruibarbo en la zona de Magallanes para desarrollo comercial del rubro exportador” financiado por Fundación para la Innovación Agraria. El proyecto introdujo nuevas variedades de ruibarbo demandadas en el mercado del hemisferio norte y, a la vez, se recolectó y cultivó ecotipos locales adaptados a la zona de Magallanes

(Chile), con características demandadas por los principales mercados de exportación. Los resultados y lecciones en el desarrollo del cultivo comercial de ruibarbo, indican que la zona es potencial para la producción destinada a la venta de pecíolos en fresco en el mercado local (supermercados y distribuidores de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir) y también a la elaboración de mermeladas, jugos y pastelería; esta industria que utiliza los tallos que no califican para exportación (Salinas y Cartes, 2009).

En referencia el uso de gallinaza como insumo para la producción agrícola, Pacaya (2021), reportó los resultados de la investigación titulada “Efecto de cuatro dosis de gallinaza de postura, en el rendimiento de lechuga *(Lactuca sativa* L. var. Great Lakes), indicando que la dosis de 60 t/ha de gallinaza de postura, fue el tratamiento que determino el mayor efecto en el rendimiento y Beneficio/Costo aplicados a la planta de lechuga de la provincia de Iquitos en Perú obteniendo 12,867 kg/ha, 24785,00 B/C. Respecto al uso de estiércoles en la producción de alimentos, Juscafresa (1987), indicó que la cantidad necesaria de estiércol de bovino es de 30 a 40 toneladas por hectáreas, en caso de usar gallinaza debe reducirse a 5 toneladas por hectárea.

Asimismo, en el estudio de restauración ecológica del suelo, con la aplicación de diferentes niveles de biocarbón:10, 20 y 30 tn/ha, se evaluó su efecto en la producción de forraje de alfalfa sometida a los tres niveles de biocarbón. Según los resultados alcanzados, se obtuvo mejor rendimiento de alfalfa, con la aplicación de 20 y 30 tn/ha de biocarbón (Ardaz, 2011).

1.2. Planteamiento del problema

La producción de ruibarbo en Bolivia es reducida y localizada, marginada a algunas regiones del país y por esta razón no figura en los registros del Instituto Nacional de Estadística. De acuerdo a sondeos y entrevistas realizadas a personas dedicadas a la producción orgánica de alimentos, se estableció que el ruibarbo es cultivado en algunos valles de Cochabamba y Santa Cruz, pero no en el departamento de La Paz.

Esta situación no ha permitido que se aproveche las bondades nutricionales y medicinales que tiene el ruibarbo para el consumidor paceño, tampoco se avanzó en establecer los requerimientos edafoclimáticos para su producción a campo abierto o en ambientes controlados para comunidades del departamento de La Paz.

En consecuencia, se está subutilizando esta especie, no se aprovecha el potencial nutricional del ruibarbo como fuente de vitaminas y minerales que benefician la salud: como Vitamina K, importante para la coagulación sanguínea y el fortalecimiento de huesos y tejidos; Vitamina C que promueve el crecimiento y fortalece el sistema inmunológico. Además, ayuda en la absorción del hierro; Vitamina A que es esencial para la visión y el sistema reproductivo; Hierro, crucial para el transporte de oxígeno en la sangre y tejidos musculares; y Calcio que contribuye a la circulación de la sangre y al fortalecimiento de huesos, músculos y dientes. Además, el ruibarbo aporta calorías y azúcares que son fundamentales para el organismo.

Tampoco se aprovecha el potencial medicinal de esta especie, como un vegetal que lucha contra infecciones, gracias a su alto contenido de vitamina C, fortalece los huesos y músculos, debido a la presencia de vitamina K, alivia malestares estomacales y fiebre. Se desaprovechan las propiedades antiinflamatorias y antioxidantes, las propiedades preventivas de enfermedades degenerativas como cáncer de pulmón y de boca, también se desaprovecha sus cualidades para mejorar la digestión y su potencial para la prevención de trastornos cerebrales, entre otros.

Según Ceballos et al. (2018), la producción de ruibarbo en Bolivia en general es casi nula por la poca información que se tiene en nuestro medio. Esta situación puede ser revertida con los resultados de la presente investigación.

1.3. Justificación

La investigación se justifica desde el punto de vista teórico y práctico, porque se basa en la aplicación de conocimientos, habilidades y talentos de la carrera de Ingeniería Agronómica, especialmente para generar información sobre el efecto de uso de enmiendas en el suelo para favorecer el desarrollo de tallos y hojas de ruibarbo, cultivadas en invernadero y las condiciones productivas recomendadas para obtener los máximos rendimientos de peciolos de ruibarbo. La obtención de información agronómica y productiva de esta especie desconocida en nuestro medio, es uno de los retos más grandes que puede afrontar un profesional agrónomo, asimismo, este trabajo podría ser usado como referente para próximas investigaciones.

La necesidad de producir alimentos saludables, es cada vez mayor, con la investigación se pretende plantear una alternativa de producción de ruibarbo en condiciones controladas de

manera eficiente y eficaz, mejorando la estructura del suelo con la adición de gallinaza y carbón activado para comunidades del departamento de La Paz. Los resultados contribuirán a la obtención de información primaria del ruibarbo que será de utilidad futura para investigadores y para productores de hortalizas que incidirán indirectamente en la nutrición y salud de los consumidores.

Respecto al aspecto social, al generar información productiva del ruibarbo, no solo creará oportunidades laborales para los productores de hortalizas, también se constituirá en una opción productiva para comunidades vecinas.

Los resultados del presente estudio serán de mucho beneficio para dar a conocer la existencia de una especie, natural, orgánica, saludable y que tiene muchos beneficios para la nutrición y salud de los consumidores del departamento de La Paz. De esta forma se contribuirá a conocer la especie, y en futuro cercano, promover su consumo en los hogares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento agronómico de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.) con la aplicación de biocarbón activado con tres niveles de gallinaza en ambiente protegido en el municipio de Achocalla.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características agronómicas de ruibarbo con la aplicación de biocarbón activado y tres niveles de gallinaza.
- Determinar el rendimiento de ruibarbo con la aplicación de biocarbón activado y tres niveles de gallinaza.
- Comparar el análisis de beneficio costo con la aplicación de biocarbón activado y tres niveles de gallinaza.

1.5. Hipótesis

- Ho: El comportamiento agronómico de ruibarbo con la aplicación de biocarbón activado y tres niveles de gallinaza no presenta diferencias significativas en el rendimiento de ruibarbo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivo de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.)

2.1.1. Historia y origen

El ruibarbo tiene una historia dramática para tratarla con más respeto como una droga, un alimento y un veneno. La derivación del nombre ruibarbo o (Rhabarb), tiene un comienzo en el río Volga que fue nombrado “Rha” por los romanos y se pensaba que el ruibarbo se originó en las tierras más allá. "Púa" se deriva del griego "barbaros", que significa personas que viven en Grecia y que no pueden hablar su idioma (ático). por lo tanto, ruibarbo (del griego) significa una planta que crece más allá del Volga (Lee *et al.,* 2017).

Es originaria de China, donde los registros históricos que se remontan aproximadamente al 2700 a. C. Marco Polo la llevó a la fama en occidente como planta medicinal. Durante un período de tiempo desde finales del 1700 hasta principios del 1800, como resultado de conflictos políticos, los emperadores chinos prohibieron su exportación al oeste (County, 2007).

En la zona sur de Chile en la Región de Magallanes, es la principal zona de cultivo de esta especie, donde fue introducida por colonos ingleses a principios del siglo XX. Esto ha llevado a la existencia de numerosos ecotipos, con una gran heterogeneidad en la calidad del producto cultivado (Nicol, 2005).

2.2. Usos

Se utiliza como elemento culinario en pasteles, tartas, salsas, mermeladas, jaleas, pudines y ponche. Aunque clasificado como verdura, el ruibarbo es usado como si fuera una fruta por su alta acidez que le da un sabor agrio a los productos que obtenga de la misma. Solo se deben comer los tallos o peciolos (Jauron, 2004). Asimismo, el ruibarbo se ha utilizado como medicina tradicional en China y Japón durante muchos años, como es un medicamento de receta oficial en Europa.

2.3. Usos alternativos

2.3.1. Usos medicinales

El ruibarbo y su Acción Dietética: Se reconoce que el ruibarbo no sólo ejerce una acción digestiva sino opera directamente como un transportador de sales de la bilis. Puede

clasificarse por consiguiente como un estimulante hepático. El ruibarbo realiza su primera acción digestiva en la boca estimulando el sabor que brota con su sabor agradablemente amargo que da una sensación de limpiar la cavidad oral, mientras le prepara para gustar la próxima comida. Cuando alcanza el estómago sus efectos digestivos entran en plena acción, causando un aumento del flujo de jugo gástrico. Además de estimular las secreciones del hígado que lleva las sales de la bilis, ayuda al intestino regulando la absorción de grasas (Nicol, 2005).

2.4. Taxonomía y descripción botánica

2.4.1. Clasificación taxonómica

Según Yagello (2007), menciona la siguiente clasificación para el ruibarbo.

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Polygonaceae

Género: Rheum

Especie: *Rheum rhabarbarum* L.

Nombre común Ruibarbo, ruibarbo de jardín, ruibarbo inglés.

2.4.2. Descripción botánica

Raíz

Las raíces se desprenden de los rizomas ramificándose por el suelo y son las estructuras que en definitiva captan el agua y los nutrientes necesarios para el crecimiento vital de la planta entera (Nicol, 2005).

Rizoma

El rizoma (tallo modificado) en su interior es amarillo y por el exterior café; se encuentra enterrado en el suelo y crece en cada estación estival. Las partes aéreas mueren en otoño, después que en las axilas de las hojas basales se desarrollan las yemas que brotarán en

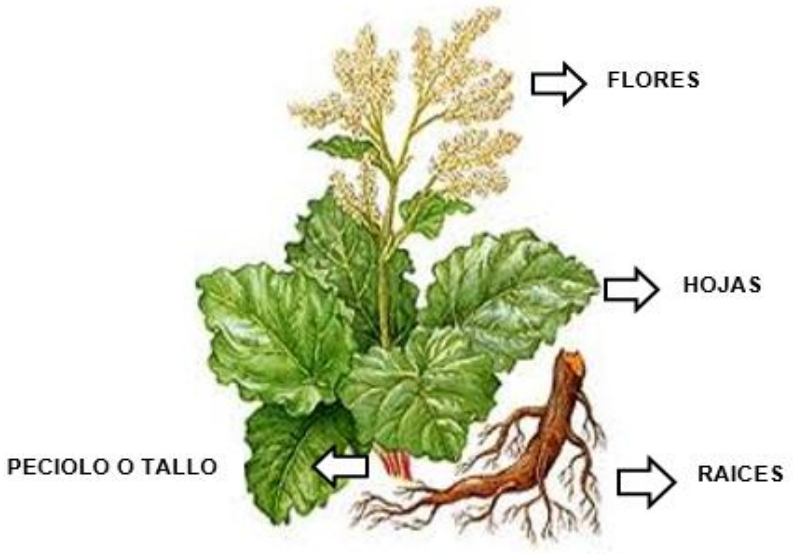
la primavera siguiente. El ruibarbo puede ser propagado por semillas y vegetativamente por división de sus rizomas (Lucier y Dettman, 2009).

Peciolo

El peciolo es la parte comestible de la planta, llegan a tener un largo entre 30 y 60 cm de largo y son redondeados en su parte dorsal, y aplastadas ventralmente de color rojo o verde dependiendo de la variedad. Además de servir como transporte de agua, actúa como soporte del limbo (de forma ondulada) y mediante movimientos de crecimiento adecuado se expone a la luz, pues es la parte en la que se realiza la fotosíntesis. La estípula se encuentra en la base del peciolo, al comenzar la brotación envuelve a la yema y al desarrollarse la hoja queda como una vaina seca que la rodea completamente (Yagello, 2007).

Figura 1.

Partes de la planta de ruibarbo



Nota: Fuente Yagello, 2007

Hojas

El sistema foliar de la planta de ruibarbo es megáfila, esto significa, que posee un sistema venoso bien ramificado y que se caracteriza por su simetría, con hojas grandes (35 cm desde el punto donde nace la hoja hasta la punta de esta, y 40 cm perpendicular a la vena

principal de la hoja) las láminas tienen forma circular y ovalada, entera, son de color verde intenso por la cara superior (haz de la hoja) y de color verde claro por la cara inferior (envés) muy atractivas se caracterizan por su textura similar al papel. Su margen presenta ondulaciones y una prominente nervadura, de largos peciolos (Bradasic y Arancibia, 2007).

Inflorescencia

Los tallos florales son huecos, sobrepasan el metro de altura y producen panículas de flores pequeña de color verde claro dispuestas en panojas. La planta del ruibarbo da comienzo a su floración a mediados del mes de octubre en el hemisferio sur (Salinas y Cartes, 2009).

2.5. Importancia económica de ruibarbo

2.5.1. Mercado internacional

El consumo de ruibarbo está asociado principalmente al mercado europeo y norteamericano; Estados unidos produce alrededor de 25 a 30 millones de toneladas al año, y los principales estados productores, en orden de importancia, son Washington, Michigan, Pensylvania, Nueva Jersey y California. Alrededor del 25% de la producción de California se vende en fresco y el 75% restante se procesa en frío (Bradasic y Arancibia, 2007), además de la producción interna, Estados unidos importa esta especie principalmente desde Holanda.

El censo agrícola estadounidense muestra que en el año 2007 existían 574 granjas que cultivaban ruibarbo, con una superficie de 568 ha, lo que representa una disminución de 22,4% respecto de la superficie cultivada el año 2002 (732 ha). Del total de granjas dedicadas al cultivo de ruibarbo el año 2007, 42 procesaban agroindustrialmente el cultivo (181 ha), equivalente al 32% de la superficie total (Lucier y Dettman, 2009).

El cultivo de ruibarbo en Chile se produce desde la VIII Región del Biobío hasta la XII Región de Magallanes; esta última es la zona de mayor producción, con una superficie estimada de 5 ha, que se concentra en pequeños huertos caseros (Bradasic y Arancibia, 2007), La producción de Magallanes se destina a la venta de pecíolos en fresco en el mercado local (supermercados y distribuidores de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir) y también a la elaboración de mermeladas, jugos y pastelería; esta industria que utiliza los tallos que no califican para exportación.

Tabla 1.

Producción estimada de ruibarbo en Chile

Región	N° plantas estimadas	Rendimiento (kg/planta)	Producción de peciolos (kg)
Maule	500	3,5	1,75
La Araucanía	17	4,0	68000
Los Lagos	5	4,0	20000
Aysén	2,5	3,5	8,75
Magallanes	24	3,5	84
TOTAL	49	3,7	182,5

Nota: Fuente Bradasic y Arancibia (2007).

2.5.2. Mercado nacional

La producción de ruibarbo en Bolivia es reducida y localizada, marginada a algunas regiones del país y por esta razón no figura en los registros del Instituto Nacional de Estadística. De acuerdo a sondeos y entrevistas realizadas a personas dedicadas a la producción orgánica de alimentos, se estableció que el ruibarbo es cultivado en algunos valles de Cochabamba y Santa cruz.. La finca VISPERA de Samaipata dedicada al cultivo de verduras y hortalizas de forma natural y sin químicos, es el lugar donde se encuentra ruibarbo en producción comercial. Según los responsables de la finca, el ruibarbo es consumido desde épocas antiguas, con un uso de doble efecto, para provocar vómito y como purgante. Se comercializa en pequeñas cantidades de 500 gramos a un costo de 20 bolivianos a solicitud de los consumidores, mediante compras en mercado online. Se realizan envíos nacionales a diferentes departamentos con costos adicionales.

Asimismo, se estableció que el ruibarbo en Bolivia es producido en fincas, campos, huertos urbanos con una agricultura tradicional. La producción sirve para satisfacer las necesidades de familias productoras y solamente se comercializan a pequeños mercados locales o ferias aledañas, como principal fuente las verduras, hierbas y flores. Son productos frescos a la venta directamente del productor al consumidor y hacen envíos a domicilio a restaurantes y pastelerías, que lo soliciten.

Según Ceballos et al. (2018), la producción de ruibarbo en Bolivia en general es casi nula por la poca información que se tiene en nuestro medio, no ha permitido que se le aproveche por las bondades nutricionales que ofrece al ser consumido. Algunos autores mencionan que, en Bolivia, se lo cultiva en los valles de Cochabamba.

2.6. Características químicas y nutricionales de ruibarbo

La composición química del ruibarbo, ha sido objeto de diversas investigaciones científicas, la mayoría de ellas están dirigidas a aclarar los casos de envenenamiento producido por posible consumo de esta verdura. Sin embargo, los problemas de envenenamiento generalmente han sido asociados con el consumo de las hojas de ruibarbo, las cuales tienen un contenido de ácido oxálico superior al 15,7 % B.P.H. (base peso húmedo), equivalente a 1,1 % de ácido oxálico B.P.S. (base peso seco), estando la gran mayoría de este acido junto con sus sales solubles, que son las que pueden provocar intoxicaciones, problemas al sistema renal y deficiencia de calcio (Bradasic y Arancibia, 2007).Los principales ácidos orgánicos encontrados en el ruibarbo son: acético, fumárico, succínico, láctico, oxálico, málico, y cítrico, de los cuales el málico y el oxálico constituyen más del 80% del total de aniones orgánicos de los peciolos del ruibarbo. Sin embargo, es el ácido málico el que predomina en todas las variedades.

Tabla 2.

Valores nutritivos de ruibarbo rojo y verde

Parámetros	**Contenido en 100 g de muestra**	
	Ruibarbo verde	**Ruibarbo rojo**
Materia seca (g)	7,78	7,38
Ceniza (g)	0,72	0,75
Proteína total (factor 6,25 g)	0,87	0,85
Lípidos totales (g)	0,06	0,05
Fibra cruda (g)	1,51	1,18
Vitamina C (g)	6,6	14,2
Azucares solubles	1,7	1,73

Nota: Fuente, Krarup y Seeman (1990).

Cuando los componentes ácidos del ruibarbo tienden a mantenerse constantes en composición, lo que sí varía considerablemente dependiendo del color de los pecíolos, que puede ir del rojo intenso al verde pálido, son los constituyentes fenólicos, lo que explicaría que es el color lo que determina sus características químicas y nutricionales como lo expuesto por Krarup y Seeman (1990), quienes como resultado de su investigación llevada a cabo durante las temporadas agrícolas 1987/88, 1988/89 y 1989/90 en la Universidad Austral de Chile para definir otras alternativas agrícolas para la X Región, indican que el contenido de vitamina C es más del doble en ruibarbo rojo (14.2 mg/100 g de muestra fresca) en comparación con el ruibarbo verde (6,6 mg/100 g de muestra fresca). De cualquier forma, siempre los rendimientos serán mayores en las variedades verdes que en las rojas, sin embargo, son estas últimas las que son apetecidas por los mercados tanto nacionales como internacionales.

Otra característica química del ruibarbo es su capacidad antibacteriana estudiada por Ramírez *et al.* (2007), quienes indican que, los extractos y fracciones etanólicos de las raíces, hojas y espigas del ruibarbo (*Rumex conglomeratus*) mostraron actividades inhibitorias hasta el 68% en el extracto en diclorometano de espigas frente a *Staphylococcus aureus* lo cual puede sugerir una buena fuente de productos potenciales como antibacterianos frente a microorganismos Gram positivos, en tanto que el porcentaje de inhibición frente a microorganismos Gram negativos no superó el 50%, en ninguna de las partes evaluadas. Lo anterior está de acuerdo con muchas investigaciones donde se demuestra que los microorganismos Gram positivos son más sensibles que los Gram negativos. Asimismo, se encontró que la fracción etérea de espigas fue activa contra *Escherichia coli.* Las contraplacas de la bioautografia tratadas con fluorescencia y vapores de amoniaco sugieren la presencia de flavonoides y quinonas.

2.7. Requerimientos climáticos y edáficos

2.7.1. Clima

El ruibarbo es una especie perenne de estación fría, adaptada a climas tan adversos como el del Ártico; presenta un rápido crecimiento en primavera y una alta productividad (30 a 70 tn de pecíolos/ha), así mismo la corona y los rizomas son resistentes al frío y a las condiciones de sequía. Inviernos fríos y veranos secos permiten su cultivo en California,

donde es capaz de entrar en latencia tanto en invierno como en verano, por frío y por falta de agua respectivamente (Bradasic y Arancibia, 2007).

Puede adaptarse también a condiciones de clima templado, especialmente en regiones con cierta altitud. Requiere de bastante agua, aunque no tolera inundaciones prolongadas como las de los suelos con turba. Para obtener pecíolos de óptima calidad y rendimiento, las temperaturas primavera/verano deben fluctuar entre 8 a 13°C y las del período invernal de letargo deben ser cercanas a los 0°C (Bradasic y Arancibia, 2007).

A temperaturas moderadas y bajas se expresa mejor el color rojo de los pecíolos, mientras que a temperaturas altas predomina el color verde. No prospera bien en zonas donde la temperatura en verano sobrepasa los 24 °C o donde la temperatura media invernal está muy por encima de los 5°C (Krarup y Seemann, 1990).

2.7.2. Suelo

El ruibarbo se desarrolla mejor en suelos fértiles y bien drenados que tienen un alto contenido de materia orgánica, para ello deben tener un pH ligeramente acido de 6.2 a 6.8. Los suelos pesados se pueden mejorar incorporando materia orgánica, como estiércol o compost. La materia orgánica mejora el drenaje y reduce las posibilidades de pudrición de la raíz. Trabaje la tierra profundamente (12 a 15 pulgadas) y agregue cantidades abundantes de estiércol o abono antes de plantar (Jauron, 2004).

Puede adaptarse también a condiciones de clima templado, sobre todo en regiones dotadas de cierta altitud. Requiere de bastante agua, pero no aguanta inundaciones prolongadas como puede ocurrir en terrenos turbosos (Nicol, 2005).

2.8. Métodos de propagación

2.8.1. Propagación sexual de ruibarbo

La reproducción sexual, el material genético de dos gametos, procedentes de dos progenitores distintos, se combinan para producir la descendencia. Los gametos deben ser haploides (n), es decir, deben tener la mitad de los cromosomas de la especie. Cuando los dos gametos se unen en la fecundación, se genera una célula diploide (2n) con la mitad de los cromosomas de cada progenitor (Díaz, 2010 citado por Poma, 2017).

La semilla es el órgano de propagación a través del cual el nuevo individuo se dispersa. El éxito con el cual este nuevo individuo se establece (tiempo, lugar y vigor de la plántula), está en gran medida determinado por las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla (Osuna *et al*., 2016).

Sandoval (2008), menciona que existen dos formas de propagación para el ruibarbo, por semilla (sexual), o vegetativa (asexual).

Según Yagello (2007), no se recomienda la multiplicación de ruibarbo por semilla, ya que se produce segregación y las nuevas plantas no necesariamente son copia del parental, siendo desuniformes en color, calidad y rendimiento. La variabilidad genética que se muestra en este tipo de propagación es elevada a diferencia de la propagación por estructuras vegetativas, es por esto que no se recomienda la utilización de semillas si se busca homogeneidad del cultivo o mantener alguna característica de la planta madre.

2.8.2. Propagación asexual de ruibarbo

La propagación vegetativa o asexual, consiste en la propagación empleando partes de la planta original y esto es posible debido a que cada parte de la planta contiene la información genética necesaria para generar una planta nueva, esta característica se conoce como totipotencia celular. La producción de un nuevo organismo es a partir de un fragmento del propio organismo, que pueden ser porciones de raíz/tallos. En esta forma de propagación, casi siempre la nueva planta es genéticamente idéntica al progenitor (un clon), aunque ocasionalmente se pueden dar mutaciones menores (Hartmann,1997).

La propagación vegetativa explota esta habilidad natural a través de la separación departes vegetativas o rametos (Collazo, 2013).

El ruibarbo se multiplica por trozos de rizomas obtenidos mediante la división de la corona ya formada en temporadas anteriores; la corta o separación entre las yemas, se realiza antes de la brotación de la planta, para esto se deben mantener o un pedazo de raíz para el almacenamiento, con tres yemas a lo menos. Cada trozo debe pesar un mínimo de 300 gramos, siendo lo ideal de 1 a 1,5 kg, por ende, de una sola planta se pueden obtener de 4 a 6 plantas nuevas (Yagello, 2007).

Bradasic y Arancibia (2007), señalan que existen cinco pasos fundamentales para realizar una buena propagación vegetativa:

1. Seleccionar una planta que se encuentre en el 4 o 5 año de producción, que presente un buen desarrollo y buenas condiciones fitosanitarias.
2. Sacar la planta de raíz y observar la presencia de posibles pudriciones y las condiciones como estado de senescencia, calidad y tamaño.
3. Realizar la primera división de la raíz con una pala, tener la precaución de ir distribuyendo la cantidad de brotes y de superficie radicular de forma homogénea. Cada uno de los segmentos debe contener entre 2 a 3 brotes y una porción del sistema radicular.
4. Repetir la operación, cortando en los segmentos que sea posible extraer. Es necesario que cada uno de los cortes quede bien provisto del material vegetal necesario para poder continuar su desarrollo de manera independiente.
5. Cada sección se lleva a tierra con las raíces enterradas a 4-5 cm bajo la superficie del suelo. Las plantas deben tener una distancia promedio de 1 m entre ellas y deben ser ubicadas en suelos con mezcla de abonos vegetales. Las hojas más grandes deben ser eliminadas de modo de no perjudicar el crecimiento y la competencia con los nuevos brotes.

2.9. Labores de campo

2.9.1. Fertilización

Se debe considerar el uso de fertilizantes de origen animal, tales como estiércol descompuesto de caballo y de ovejas, esta planta responde muy bien a las aplicaciones de estos elementos, la cantidad a aplicar debiera ser de 20 toneladas por hectárea, la aplicación se hace sobre el surco de plantación. (esta dosis equivale a usar 2 Kg. de estiércol por metro lineal de plantación, considerando una distancia de un metro entre las hileras (Nicol, 2005).

El ruibarbo responde a altos niveles de materia orgánica y, se recomienda una aplicación de abono, estiércol viejo u otra forma de materia orgánica durante el primer año de cultivo; a partir de este momento se debe incorporar anualmente: 50 toneladas por hectárea de estiércol alrededor de la planta esta dosis equivale a 5 kg/m^2 (Bratsch, 2009).

Debido a que el ruibarbo se desarrolla mejor en suelos fértiles, en los casos de bajo contenido de materia orgánica se recomienda la aplicación de 1 a 6 kg/m^2 de estiércol, más 3 a 4 kg/m^2 de guano junto con la fertilización mineral: 150 - 300 unidades de N/ha + 100 -

400 unidades de P_20_5/ha + 100 - 200 unidades de K_20/ha + 50 - 100 unidades de S/ha (Krarup y Seemann, 1990). Estos valores son referenciales, ya que para realizar una correcta fertilización primero se debe hacer un análisis de suelo.

2.9.2. Cosecha

Se puede cosechar toda la planta con un corte a los tallos en la línea del suelo o sacarlos individualmente. Todos los tallos de una planta se pueden cortar a la vez o arrancar selectivamente durante un período de 4 a 6 semanas (Helsell *et al.,* 1981).

La cosecha se realiza desgajando las hojas desde la corona, cuando presentan un pecíolo de 25 cm de longitud o más; se evitará dañar las nuevas yemas que se encuentran en las axilas de los pecíolos. Los tallos deben ser arrancados de la corona y no cortados, para disminuir el riesgo de infecciones fúngicas (Bradasic y Arancibia, 2007).

La madurez de los pecíolos se reconoce cuando la superficie de las hojas está extendida entre la nervadura. Se recomienda no cosechar más de 3 a 4 tallos por planta al mismo tiempo; una vez terminada la cosecha se dejan peciolos tiernos para que sigan en desarrollo (Bradasic y Arancibia, 2007).

2.10. Plagas y enfermedades del ruibarbo

2.10.1. Plagas

Las principales plagas en el cultivo de ruibarbo corresponden a insectos (escarabajos y pulgones) babosas y algunos virus. En el caso de pulgones (Aphididae), se caracterizan por ser parásitos de plantas angiospermas (con flor) aunque también parasita plantas gimnospermas como las coníferas. Son organismos de pequeño tamaño (1 - 10 mm) de colores variados, se alimenta de la savia de las plantas cuyo control natural de estos insectos son las mariquitas (Ricalde, 2002).

El picudo del ruibarbo, es un escarabajo que perfora los tallos, las coronas y las raíces de las plantas del ruibarbo, el cual se puede controlar quemando las plantas que están afectadas, después que los escarabajos hayan puesto sus huevos (Poma, 2017).

2.10.2. Enfermedades

Las enfermedades que afectan al cultivo del ruibarbo son las siguientes:

Pudrición de la corona (*Phytophtora* sp o *Pythium* sp) causada por los hongos que ocasiona la pudrición de la corona, ataca las raíces y toma colores oscuros con olor típico de pudrición de los tejidos. Luego avanza al cuello de la planta, que adelgaza, se dobla y al final muere (Salinas y Cartes, 2009).

Podredumbre de los rizomas (*Verticilum alboatrum*) marchitez causada por el hongo del suelo que normalmente se asocia al cultivo de solanáceas y frutillas (Bradasic y Arancibia, 2007).

Pudrición radicular (*Armila reamellea*) causa pudrición de la raíz en coronas que han sido mal manejadas (Bradasic y Arancibia, 2007).

2.11. Abonos orgánicos

Se entiende por “abono orgánico” o “biofertilizante” cualquier tipo de producto que se utilice para el manejo de los suelos (como enmienda, o como aportador de nutrientes) cuyo origen sea principalmente orgánico (Soto, 2003).

Al respecto Vásquez (2001), define que, abono orgánico es todo compuesto que está constituido por desechos de origen animal y vegetal que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas.

Según Martínez y Ramírez (2000), un abono natural resulta de la transformación de la mezcla de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, que han sido descompuestos bajo condiciones controladas, obteniéndose un material de alta calidad. Este abono también se le conoce como “tierra vegetal” o “mantillo.

Asimismo, Palazuelos (1995) señala que, colocar abonos orgánicos a sus cultivos significa aportar en pequeñas cantidades con los nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, azufre, boro, cobre y otros durante el proceso de descomposición y también significa alimentar a los pequeños seres vivos que existe en el suelo dándole más vida a la tierra.

2.12. Tipos de abonos orgánicos

2.12.1. Abono natural

Dentro de los abonos naturales se destaca cualquier tipo de residuo vegetal, las excreciones y subproductos de origen animal y los residuos urbanos. En este último grupo, es posible identificar gran diversidad de tipos: basura residencial, de mercados, del comercio, de hospitales, de calles, etc., cada una con características particulares (Soto, 2003). Un abono natural es aquel formado, por las excreciones sólidas y líquidas del ganado, mezcladas con productos que le sirven de lecho o cama.

2.12.2. Abono fabricado

Cuando se habla de abonos orgánicos fabricados se hace referencia a los diferentes tipos de compost que se pueden producir, incluyendo aquellos que son reforzados con productos químicos con el afán de mejorar su calidad (Acuña, 2003).

2.13. La gallinaza como abono orgánico

La gallinaza es un fertilizante orgánico que posee macro y micro nutrientes, y un alto contenido de materia orgánica. Esto provoca efectos positivos en el suelo mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, aumentando el rendimiento de los cultivos (Tecnamed, 2010).

Tabla 3.

Contenido de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en estiércol de algunas especies animales

Especie	Nitrógeno (N)	Fósforo ($P_2 0_5$)	Potasio ($K_2 0$)
Vaca	1,34	0,9	0,85
Gallina	4,5	3,2	1,35
Cerdo	1,75	1,75	1
Oveja	2,5	1,5	1,5
Cabra	1,35	1,4	3,6

Nota: Fuente, Pinedo (2000).

Al respecto Pinedo (2000), comparó la cantidad de Nitrógeno, Fosforo y Potasio en estiércoles de distintas especies animales, presentados en la Tabla 3.

Según estos resultados, los contenidos de N, P_20_5 y K_20 en el estiércol de gallina (Gallinaza) registra los mayores porcentajes de Nitrógeno y Fosforo, con valores de 4,50% N y 3,20% P_20_5, respectivamente. Asimismo, el estiércol de cabra contiene mayor cantidad de potasio (3,60 K_20). La gallinaza aporta mayor cantidad de nitrógeno y fósforo, en comparación a las demás especies animales, y por ello, es recomendable aplicarlo al momento de preparar la tierra. La Tabla 4, muestra el resultado de análisis físico químico de un substrato enriquecido con gallinaza proveniente de aves de postura.

Tabla 4.

Características físicas y químicas de un substrato enriquecido con gallinaza

Análisis	Contenido
Arena (%)	52,96
Limo (%)	27,07
Arcilla (%)	19,97
Clase textual	Franco Arenoso
pH	7,4
C.E mmhos/cm3	20,6
Materia orgánica (%)	20
Nitrógeno (%kg/ha)	1
Fosforo	210,4
Potasio (ppm)	797,4
Potasio intercambiable (meq/100 g de suelo)	2,04
Calcio + Mg + Aluminio	11,5

Nota: Fuente, Laboratorio de suelos del ICT- abril 2002.

Para considerar a la gallinaza como fertilizante, se debe tomar en cuenta su composición ya que cambia de acuerdo al momento de recolección y al tipo de almacenamiento. Dependiendo de su origen puede aportar otros materiales orgánicos. La mejor gallinaza proviene de gallinas ponedoras bajo techo y con piso cubierto (Lozada, 2013).

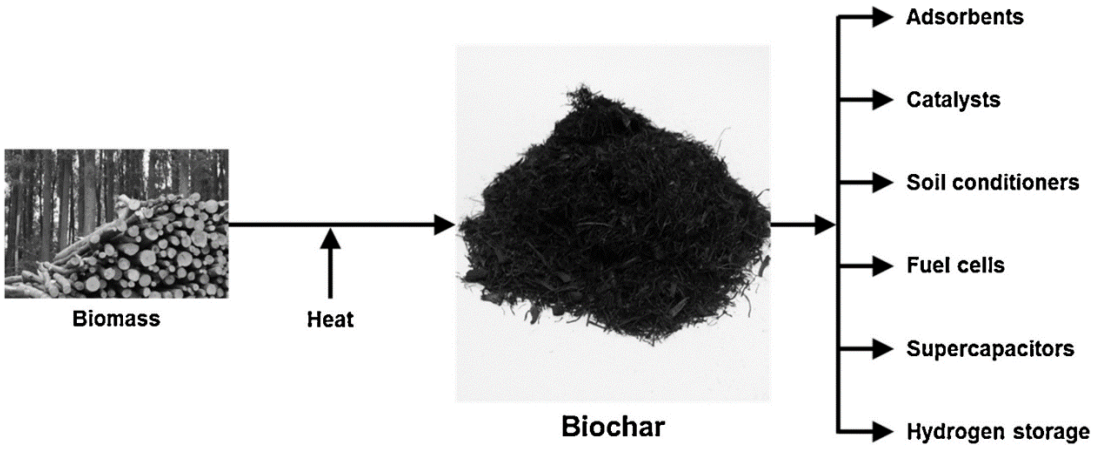
La gallinaza como abono orgánico ofrece la ventaja de restablecer el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo; incrementa la cantidad y diversidad de la flora microbiana benéfica, permite la reproducción de lombrices de tierra al tiempo que libera los elementos químicos que las plantas necesitan. Se les considera como productos fertilizantes de lenta liberación cuya acción se prolonga en el tiempo (acción residual) que contribuyen a mejorar la calidad del medio ambiente y favorecer la producción sostenible de alimento (Acuña, 2003).

2.14. Biocarbón

El biocarbón (Biochar) es un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno. El biocarbón es un material sólido rico en carbono que se crea a través del calentamiento de biomasa en un entorno pobre de oxígeno (pirólisis) y que se aplica para la mejora del suelo. La pirólisis de la biomasa se produce a temperaturas comprendidas desde un mínimo de 350 ºC hasta un máximo de 900 ºC. Otros procesos más que entran dentro de la carbonización son la torrefacción, la carbonización hidrotérmica y la coquización, cuyos productos finales no pueden denominarse biocarbón y que, por lo tanto, requieren una consideración aparte en lo que a su aplicación en suelos se refiere (IBI, 2012).

Figura 2.

Proceso de obtención de Biocarbón (Biochar)



Nota: Fuente, Cha *et al.*(2016).

Al respecto Cha *et al*. (2016), mencionan que el biocarbón es el producto con elevado contenido de carbono que se obtiene después del calentamiento de la biomasa en ausencia de oxígeno El término biocarbón se diferencia del carbón tradicional (combustible), ya que en la producción biocarbón se emplea restos orgánicos (estiércol, residuos agrícolas, etc.).

2.15. Biocarbón activado

Biocarbón activado es un material carbonoso, microcristalino y no grafitico, que se ha sometido a un proceso de activación ya sea con líquido, gases y material orgánico, con el objetivo de aumentar su porosidad tiene alta capacidad adsorbente de nutrientes disponibles en suelo o de la materia orgánica y luego liberar los nutrientes para la planta (Yuco, 2012).

Un carbón activado está constituido por microcristales elementales, y lo componen estructuras bidimensionales de planos hexagonales de átomos de carbono, pero que carecen de orden cristalográfico en la dirección perpendicular a las láminas, es decir, los planos se encuentran desplazados unos respecto a otros y solapando entre sí, por lo que presentan un elevado porcentaje de la estructura altamente desordenada. De esta falta de orden les viene la denominación de carbones no grafíticos. Los carbones activados, además son no grafitizables, es decir, debido a este ordenamiento al azar de las capas y al entrecruzamiento entre ellas no se pueden transformar en grafito por un tratamiento térmico por encima de los 3000 K a presión atmosférica o menor (Martínez, 2012; mencionado por Balta, 2019).

Cualquier material orgánico con alto contenido de carbono puede transformarse en carbón activado. Sin embargo, para elegir un precursor adecuado se debe tener en cuenta: buena disponibilidad, bajo costo, bajo contenido en cenizas y que el carbón resultante tenga una elevada capacidad de adsorción. Los residuos agrícolas lignocelulósicos son buenos precursores de carbón activado porque tienen las características apropiadas, según han demostrado diversas investigaciones. Algunos residuos como la cáscara de coco y pepas de aceituna producen carbón activado con mejores propiedades mecánicas que los producidos de madera o carbón mineral, no obstante, todavía es complicado preparar carbón activado con una distribución de tamaño de poros específica, usando precursores baratos y cuyo procesamiento implique el uso de temperaturas bajas, para disminuir los costos de producción (Días *et al.,* 2007; Ioannidou y Zabaniotou, 2007).

Según Suhas *et al.,* (2016), la microestructura de los carbones activados de origen lignocelulósico tiene una fuerte dependencia del contenido de lignina y celulosa del precursor. Por ello, cuando se desea obtener carbón activado con contenido apreciable de mesoporos y macroporos, son adecuados precursores lignocelulósicos con alto porcentaje de lignina. Una composición típica de materiales lignocelulósicos es aproximadamente; 48% C, 6% H y 45% O, y bajo contenido de cenizas (Molina y Rodríguez, 2004).

2.16. Materia prima para la producción de biocarbón

La materia prima utilizada en la producción del biocarbón define sus características físicas y químicas, por eso estos presentan una gran heterogeneidad. Los materiales que ha tenido mayor utilidad en la elaboración del biocarbón son los residuos forestales, agroindustriales, agrícolas y ganaderos (Paco, 2012).

Al respecto Lehmann y Joseph (2009), mencionan que la madera, estiércol, hojas, residuos de cultivos, constituyen la materia prima para la producción de biocarbón. Otros investigadores incluyen como materia prima a las camas de pollo, algas, cascaras de naranja, de nueces y lodos residuales (Brick, 2010).

Las materias primas para la preparación del biocarbón son numerosas. Entre ellas podemos mencionar: residuos de cosechas, plantas secas, biomasa de árboles y desperdicios orgánicos de la vida urbana (lodos residuales). La disponibilidad de estos últimos se incrementará en el futuro cercano en la medida que se construyan un mayor número de plantas de tratamiento de aguas grises. Su destino final será casi siempre el suelo, sin que se conozca mucho acerca de los contaminantes que pueda contener en su estado natural. Su transformación a biocarbón, al menos asegura, la exclusión de gérmenes que pudiesen resultar nocivos para los cultivos de consumo humano o animal (Balta, 2019).

2.17. Importancia del biocarbón en la agricultura

Principalmente se lo ha venido utilizando en la agricultura para mejorar las condiciones del suelo y propiciar el desarrollo de los cultivos. Sobre la aplicación de este producto, dicen en cuanto a los cultivos que se han descrito efectos favorables sobre la producción y calidad de las cosechas (Abenza, 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental Andina Ave María del Municipio de Achocalla, ubicada entre los paralelos 16°33’ y 16°37’ Latitud Sur y los meridianos 68°06’ y 68°11’ de Longitud Oeste a una altura promedio de 3745 msnm, a 32 km de la Cuidad de La Paz sede de gobierno (PTDI, 2016).

Figura 3.

Ubicación del área de investigación

Nota: Fuente, Google Earth.(2022)

3.1.2. Características Edafoclimática

3.1.2.1. Clima

El clima presenta dos temporadas muy bien definidas, la temporada húmeda durante la cual se registran la mayor parte de las precipitaciones anuales y en la que los vientos son del Este y Sudeste, la temporada seca que se presenta en el invierno con cielos despejados y poco nubloso donde las precipitaciones son poco frecuentes (PTDI, 2016).

3.1.2.2. Suelo

Los suelos en su mayoría son poco desarrollados y pobres en materia orgánica, especialmente en el centro y sur donde las condiciones climáticas son menos favorables, debido a la aridez (PTDI, 2016).

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetal

El material vegetal que se utilizó para el presente trabajo de investigación fue hijuelos obtenidos de plantas madres de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.), provenientes del centro experimental Ave María del Municipio de Achocalla.

3.2.2. Insumo

El material orgánico incorporado fue la gallinaza, adquirido del galpón de aves de postura de la finca y el biocarbón se elaboró en carbonera, con material vegetal de talas de eucaliptos y acacias, de las anteriores gestiones pasadas en la finca, ubicada en el municipio de Achocalla departamento de la Paz.

3.2.3. Material de escritorio

- ✓ Material de escritorio en general (papel bond, bolígrafos y lápices, etc.)
- ✓ Planillas de registro
- ✓ Libreta de apoyo
- ✓ Calculadora
- ✓ Computadora
- ✓ Impresora

3.2.4. Material de campo

- ✓ Pico
- ✓ Pala
- ✓ Rastrillo
- ✓ Chontas
- ✓ Carretilla
- ✓ Cernidor
- ✓ Martillo
- ✓ Clavos
- ✓ Manguera de goma
- ✓ Material de marcación
- ✓ Cinta métrica 50 m
- ✓ Flexómetro 5 m
- ✓ Estacas
- ✓ Lienzos
- ✓ Planchas
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Balanza
- ✓ Aerosol
- ✓ Guantes de trabajo

3.2.5. Material de laboratorio

- ✓ Vernier
- ✓ Balanza electrónica

3.3. Diseño Metodológico

3.3.1. Enfoque

La investigación se ha realizado aplicando el enfoque cuantitativo. El uso de este enfoque permitió realizar el estudio en base a características cuantitativas agronómicas, y morfológicas de plantas de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.) tratadas con biocarbón activado y gallinaza. Adicionalmente en el estudio se consideró variables cuantitativas

económicas para conocer la rentabilidad y efectividad de los tratamientos para contribuir al incremento de los ingresos.

El enfoque cuantitativo permite el registro de datos en ambiente controlado, con mayor precisión, usando herramientas simples, cuyos resultados pueden compararse con otros trabajos similares. Se recogió datos o información cuantitativa de las plantas de ruibarbo en estudio en base a las cuales se realizaron los análisis estadísticos correspondientes.

3.3.2. Tipo de Investigación

El estudio se enmarca en las características de una investigación de tipo exploratorio y descriptivo, basado principalmente en características cuantitativas agronómicas, morfológicas y económicas asociadas al cultivo de ruibarbo.

Es una investigación de tipo exploratorio, debido a que, no se conoce el efecto del uso de biocarbón activado junto con gallinaza, en el desarrollo de hijuelos de ruibarbo. La información que se generó ayudara al conocimiento de esta especie, para consolidar futuros emprendimientos productivos o empresariales.

También es una investigación de tipo descriptivo porque muestra, describe y analiza las características de una serie de variables dependientes e independientes. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de individuos, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

3.3.3. Diseño de la investigación

La investigación se enmarca en el diseño experimental puro, debido a que se registra información de hijuelos de ruibarbo en ambiente controlado, considera medición de diferentes variables e incluye grupos de comparación en el análisis de resultados. En consecuencia, se utilizó un diseño experimental que se describe a continuación.

3.3.3.1. Diseño experimental

El trabajo de investigación se estableció bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con 3 tratamientos y un testigo cada uno con 3 repeticiones, de acuerdo al siguiente modelo lineal:

$$Yij = \mu + \alpha i + Eij$$

Dónde:

Y ij = rendimiento de peciolo
μ = Media general
αi = Efecto i-ésimo (biocarbón activado con tres niveles de gallinaza)
εij = Error experimental

3.3.3.2. Factores de estudio

En la Tabla 5, se muestran las diferentes proporciones de biocarbón activado y niveles de gallinaza, utilizados en los tratamientos:

Tabla 5.

Formulación de tratamientos

Tratamientos		Descripción
T0	(0 t/ha)	Sin la aplicación de biocarbón activado con gallinaza
T1	(20 t/ha con 30 t/ha)	Biocarbón activado (2 kg/m^2) con gallinaza (3 kg/m^2)
T2	(20 t/ha con 40 t/ha)	Biocarbón activado (2 kg/m^2) con gallinaza (4 kg/m^2)
T3	(20 t/ha con 50 t/ha)	Biocarbón activado (2 kg/m^2) con gallinaza (5kg/m^2)

Nota: Elaboración propia

3.3.3.3. Características del campo experimental

La descripción del croquis experimental y las dimensiones en ambiente protegido, se representan en las Tablas 6 y 7.

Tabla 6.

Características del área experimental

Detalle	Cantidad
Área experimental total	30.45 m^2
Número de unidades experimentales	12
Ancho del pasillo y entre unidades experimentales	0.3 m

Nota: Elaboración propia

Tabla 7.

Características de la unidad experimental

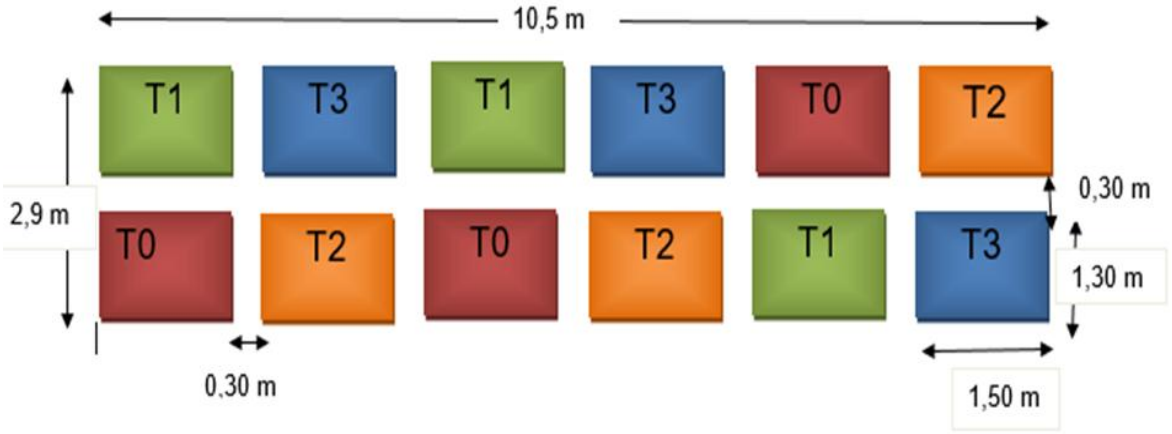
Detalle	Cantidad
Área de unidad experimental	1,95 m^2
Distancia entre unidades experimentales	0,3 m
Distancia entre plantas	0,6 m
Número de plantas por unidad experimental	12

Nota: Elaboración propia

3.3.3.4. Croquis experimental

Figura 4.

Croquis de la parcela experimental



Nota: Elaboración propia

3.3.4. Método de investigación

Durante la investigación se aplicó el método de análisis y síntesis de los resultados alcanzados. Inicialmente se analizaron los datos aplicando estadística descriptiva para conocer las medidas de dispersión y de tendencia central, posteriormente se realizaron análisis de varianza y prueba de medias para las variables con diferencias significativas o altamente significativas.

En base al análisis de datos cuantitativos registrados se realizó la síntesis de resultados, identificando las ventajas y desventajas de la investigación. Asimismo, con este proceso de análisis y síntesis de resultados se identificaron los tratamientos de efecto favorable para la producción y comercialización de ruibarbo.

3.3.5. Población y muestra

En la presente investigación la población estuvo constituida por el total de plantas de ruibarbo en desarrollo en toda el área experimental de la investigación. En cambio, la muestra estuvo formada por las plantas de ruibarbo, seleccionadas al azar de cada unidad experimental, en las que se registraron los datos cuantitativos de variables morfológicas.

3.3.6. Técnica de investigación

Según Pairumani (2021), técnica de investigación es el procedimiento o forma particular de obtener datos o información, por lo que, cada enfoque de investigación tiene sus propias técnicas de investigación y estos a su vez, su propia herramienta. Una técnica necesariamente tiene su propia herramienta.

Como el enfoque de esta investigación es cuantitativo, se aplicaron dos técnicas de investigación: Observación y Escalas de medición.

La técnica de observación, se aplicó en todo el proceso de desarrollo de hijuelos de ruibarbo establecidos en campo, registrando visualmente características sobresalientes en el desarrollo de las plantas.

La técnica de escalas de medición, se utilizó en la toma de datos de cada variable cuantitativa. Este proceso implica la medición de partes de la planta con vernier, flexómetro o balanza electrónica, registrando la información en planillas de registro.

3.3.7. Instrumentos para la recolección de información

Para la técnica de observación, se utilizó como instrumento un ***Cuadro de Registro para datos observados***, que está en el cuaderno de campo, en el que se describe y detallan las características observadas durante el desarrollo de las plantas de ruibarbo.

Para la técnica de escalas de medición, se utilizó como instrumento una ***Planilla de registro de doble entrada***, en las columnas se incluyen los nombres de las variables de evaluación y en las filas se describen los números de bloques y tratamientos por bloque.

Los instrumentos utilizados en la investigación cumplen con los criterios de: confiabilidad, validez y objetividad. Según Hernández *et al*. (2014), la confiabilidad hace referencia al grado de producción de resultados por el instrumento, y que los mismos sean coherentes y de acuerdo al requerimiento de la investigación. La Validez, tiene que ver que efectivamente el instrumento mida las variables que se está analizando en la investigación. Finalmente, la objetividad hace referencia a las tendencias y sesgos que se puede dar a partir del investigador.

3.3.8. Variables

3.3.8.1. Variables agromorfológicas

- **Porcentaje de prendimiento**

Se determinó esta variable registrando la cantidad de plantas vivas y muertas, 15 días después del trasplante, que fue el 11 de julio 2021. Los resultados se expresaron en porcentajes, considerando el total de plantas existentes en las unidades experimentales.

- **Altura de planta**

Esta variable se registró en centímetros, tomando medidas desde la base del cuello hasta el ápice de la hoja de mayor tamaño, con ayuda de un flexómetro. Para determinar la altura de la planta, se realizó la medición de 8 plantas por tratamiento, haciendo un total de 96 plantas muestreadas. La medición de esta variable se realizó cada 15 días, comenzando el 11 de julio de 2021 hasta el momento de la primera cosecha que fue el 28 de enero de 2022, obteniendo 13 datos en total en toda la evaluación.

- **Número de hojas por planta**

Para el registro de información de esta variable, se realizó el conteo del número de hojas presente en cada planta evaluada. De cada tratamiento, se cuantificó el número de hojas de 8 plantas y en total se evaluaron 96 plantas en todo el ensayo. Para ver el desarrollo de las hojas por planta, se registraron datos cada 15 días, empezando el 11 de julio del 2021 obteniendo 13 datos en total.

- **Diámetro de peciolo**

Esta variable se registró con ayuda de un vernier, midiendo el diámetro de la parte media del peciolo, los datos se expresaron en centímetros. De cada tratamiento, se midió el diámetro de peciolo en hojas de 8 plantas, y en todo el ensayo se midió esta variable en 96 plantas, de manera manual cada 15 días comenzando el 11 de julio 2021 hasta el momento de la cosecha que fue el 28 de enero de 2022.

- **Longitud de peciolo**

Para esta variable se midió la longitud máxima del peciolo, desde el cuello de la planta hasta la base de la lámina de la hoja, los datos fueron expresados en centímetros. Esta medición se realizó cada 15 días, comenzando el 11 de julio de 2021 concluyendo el 28 de

enero 2022 con la cosecha, teniendo un total de 13 datos al concluir la evaluación. Se evaluó la longitud de peciolo en hojas de 8 plantas por tratamiento y de 96 plantas en todo el ensayo.

- **Rendimiento de materia verde (kg/m^2)**

Esta variable se determinó en la cosecha, considerando todas las muestras tomadas de cada unidad experimental. Para el cálculo del rendimiento, inicialmente se separaron los peciolos de las hojas muestreadas de cada unidad experimental, con la ayuda de un cuchillo (28 de enero del 2022), posteriormente, se procedió el pesaje del total de peciolos obtenidos de cada unidad experimental y también se pesó el total de láminas de hojas sin peciolo, obtenidas de cada unidad experimental. Finalmente, se relacionó el peso total de peciolos y láminas de hojas, con la superficie de cultivo en cada unidad experimental, expresando los resultados en kg/m^2.

3.3.8.2. Variables económicas

El trabajo de investigación se estableció sobre la base del método de evaluación económica agropecuaria propuesto por el CIMMYT (1998), que hace referencia a la metodología sobre el presupuesto parcial y el análisis marginal, como herramientas útiles para analizar los costos y beneficios de la investigación.

Este análisis económico se realizó con el propósito de comparar los tratamientos que más beneficio pueda generar en la producción del cultivo de ruibarbo. Los datos de costos de producción fueron calculados para una hectárea, considerando los rendimientos obtenidos por cada uno de los tratamientos.

- **Ingreso bruto (IB)**

Se calculó para cada tratamiento, multiplicando el rendimiento ajustado (R), por el precio del producto en bolivianos (P). En el cálculo del ingreso bruto se usó el precio referencial de 80 Bs por Kilogramo de peciolos de ruibarbo, comercializado en el Supermercado HAAS de productos orgánicos de la ciudad de Cochabamba.

$$IB=R*P$$

- **Ingreso neto (IN)**

El ingreso neto se determinó a la resta entre ingreso bruto (IB) y el costo de producción (CP)

$$IN=IB-CP$$

- **Relación beneficio/costo (B/C)**

Esta variable económica se calculó mediante la relación del ingreso bruto con los costos de producción, valor que ayudo a la evaluación económica final de la investigación. Para la interpretación de la relación Beneficio/Costo, se comparó el valor obtenido con la unidad, en consecuencia, una relación B/C < a 1 significa que se incurrieron en pérdidas y una relación B/C > a 1 significa que la actividad económica fue rentable (CIMMYT, citado por CENTA 2018).

$$B/C = IB/CP$$

Dónde:

B/C = Beneficio costo

CP = Costo de producción

IB = Ingreso bruto

3.3.9. Operacionalización de variables

Tabla 8.

Operacionalización de variables independientes y dependientes

	Variable	Dimensión	Indicador	Recolección de datos	Instrumento
Variables morfológicas y agronómicas	Porcentaje de prendimiento	Agronómica	Cantidad de plantas en buen estado de desarrollo	Observación	Cuadro de registro
	Altura de planta	Morfológica	Efecto de los tratamientos realizados	Observación y Escala de medición	Planilla de registro
	Número de hojas por planta	Morfológica	Efecto de los tratamientos realizados	Observación y Escala de medición	Planilla de registro
	Diámetro de peciolo	Morfológica	Efecto de los tratamientos realizados	Observación y Escala de medición	Planilla de registro
	Longitud de peciolo	Morfológica	Efecto de los tratamientos realizados	Observación y Escala de medición	Planilla de registro
	Rendimiento de materia verde	Agronómica	Efecto de los tratamientos realizados	Escala de medición	Planilla de registro
Variables económicas	Ingreso bruto	Económica	Cuantificación de los ingresos obtenidos por tratamiento	Escala de medición	Planilla de registro
	Ingreso neto	Económica	Cuantificación de los ingresos obtenidos por tratamiento	Escala de medición	Planilla de registro
	Relación Beneficio/costo	Económica	Indicador de rentabilidad de la investigación	Escala de medición	Planilla de registro

Nota: Elaboración propia, 2024.

3.4. Procedimiento experimental

3.4.1. Instalación del área experimental

Se procedió al trazado (medición de las unidades experimentales) y cavado de 12 hoyos en el suelo cada unidad experimental, a una profundidad de 0,30 m. El área total de investigación fue de 30,45 m^2, dividido en 12 unidades experimentales de 1,30 m x 1,50 m.

Figura 5.

Croquis de la parcela experimental

Nota: Elaboración propia, 2024

3.4.2. Elaboración de biocarbón

Esta actividad se inició con la recolección de troncos secos de eucalipto y acacia, de 50 cm de altura y 22 cm de diámetro, aproximadamente, provenientes de talas de gestiones anteriores. Para la obtención de Biocarbón, se utilizó una carbonera modelo “Contiqui quechua” en el que se aplica el método de pirolisis lenta. Se colocó la madera seca de eucalipto y acacia hasta llenar la carbonera, posteriormente, se prendió fuego en la carbonera y se tapó para concentrar el calor. El contenedor tuvo un limitado suministro de oxígeno, para combustión lenta durante ocho horas, al final de este proceso se obtuvo el biocarbón. Para reducir la temperatura del biocarbón, se inundó con agua, durante una noche. Finalmente, se procedió con el secado del biocarbón.

3.4.3. Obtención de la gallinaza

La gallinaza se obtuvo del galpón de aves de postura de la finca. Las aves excretan sus desechos digestivos sobre la superficie del galpón, generalmente cubierta por una cama de aserrín. La gallinaza se acumula durante el tiempo de crecimiento de las aves, luego de la limpieza periódica del galpón, se obtiene la gallinaza que se deja secar por algunos días y en algunos casos se procede con la molienda. Posteriormente, se tamiza para separar piedras grandes, pajas, u otro material no deseado y finalmente está listo para su aplicación en el substrato.

3.4.4. Aplicación de biocarbón y gallinaza

El biocarbón antes de incorporar al suelo fue desmenuzado con la ayuda de un combo, hasta obtener pedazos de un diámetro promedio de 1 cm. Posteriormente se aplicó una capa de biocarbón a cada unidad experimental a razón de 20 tn/ha, a una profundidad de 20 cm. Posteriormente, se añadió una capa de gallinaza encima del biocarbón, de acuerdo a las dosis de cada tratamiento (30, 40 y 50 tn/ha de gallinaza), finalmente, se cubrió cada unidad experimental con suelo del lugar. Para que se active el biocarbón se procedió a regar con agua, cada unidad experimental.

Figura 6.

Aplicación de Biocarbón (Izquierda) y gallinaza (Derecha) en una unidad experimental

Nota: Elaboración propia, 2024

3.4.5. Obtención de hijuelos de ruibarbo

Los hijuelos de ruibarbo, se obtuvieron de plantas madre existentes en la finca. Se procedió con la separación manual de cada hijuelo, que tenían raíz y algunas hojas en desarrollo (Figura 7). En total se obtuvieron 152 hijuelos de buena calidad para el experimento, provenientes de 19 plantas madres.

Figura 7.

Obtención y selección de hijuelos de ruibarbo antes del trasplante

Nota: Elaboración propia, 2024

3.4.6. Trasplante de hijuelos

El trasplante en suelo definitivo, se realizó después de 24 horas de haber obtenido los hijuelos, esto para tener un mayor porcentaje de prendimiento. Antes del trasplante, se procedió con la limpieza de los hijuelos dejando una hoja por hijuelo, para tener uniformidad en la brotación de nuevas hojas. Horas antes del trasplante, se rego con abundante agua cada unidad experimental con el fin de facilitar el prendimiento.

Figura 8.

Trasplante de hijuelos de ruibarbo en una unidad experimental

Nota: Elaboración propia, 2024

3.4.7. Refalle

Se realizó después de 15 días del trasplante, con el fin de reponer los hijuelos o plantas perdidas (muertas) que no tuvieron un buen prendimiento de cada parcela experimental. Se hizo esta práctica con el propósito de uniformizar la plantación de los diferentes tratamientos.

3.4.8. Manejo del cultivo

3.4.8.1. Registro de temperatura

El registro de temperaturas al interior del invernadero se realizó utilizando un termómetro de máximas y mínimas instalado en el medio del cultivo, a una altura de 60 cm sobre el nivel del suelo. El termómetro estuvo protegido de la radiación directa para evitar registros de temperatura erróneos.

3.4.8.2. Remoción de suelo

Durante el desarrollo del cultivo se realizó la remoción del suelo a los 30 días después del trasplante, teniendo cuidado de no cubrir el cuello de la planta y de no dañar las raíces, para darle aireación y fomentar el crecimiento de la planta.

3.4.8.3. Desmalezado

Se realizó cada 15 días eliminando las malas hierbas presentes en las unidades experimentales para evitar la competencia por luz y nutrientes.

3.4.8.4. Riego

Después del trasplante se realizó el riego para mantener el terreno con humedad adecuada para lograr un buen prendimiento. Posteriormente, se aplicó riego dos veces a la semana.

Figura 9.

Aplicación de riego luego del trasplante de hijuelos de ruibarbo

Nota: Elaboración propia, 2024

3.4.8.5. Cosecha

La cosecha fue realizada manualmente a los 201 días después del trasplante en cada uno de los tratamientos. Para favorecer el manejo de los datos del rendimiento de peciolos, se cosecharon todas las plantas de ruibarbo existentes en cada unidad experimental, pesando por separado los peciolos y las láminas de hojas. En el ruibarbo generalmente se consumen los peciolos y no así las láminas, éstas son consideradas como sobrante de cosecha y no se consumen. Luego de la limpieza de los peciolos se procedió con el embolsado para su comercialización.

3.4.9. Registro de datos cuantitativos

El registro de variables cuantitativas de planta, se realizó a los 201 días después del trasplante. En plantas muestra, seleccionadas al azar, se midió la altura de planta, se cuantificó el número de hojas por planta, se midió el diámetro de peciolo, se midió el largo máximo de peciolo y se calculó el rendimiento de materia verde (peciolos y láminas de hojas). Posteriormente, se calculó el ingreso bruto, ingreso neto y la relación beneficio/costo. Los datos registrados en campo, se transfirieron a planillas Excel para los análisis correspondientes.

3.4.10. Análisis estadístico de las variables de respuesta

En base a las planillas Excel, se realizaron análisis estadístico de tendencia central y dispersión, análisis de varianza y prueba de medias. Para realizar esta actividad se utilizó programa de SAS (versión 9.2), que es un programa para el análisis de datos, nos ayudó a realizar ejercicios de nuestros datos alzadas en campo experimental.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

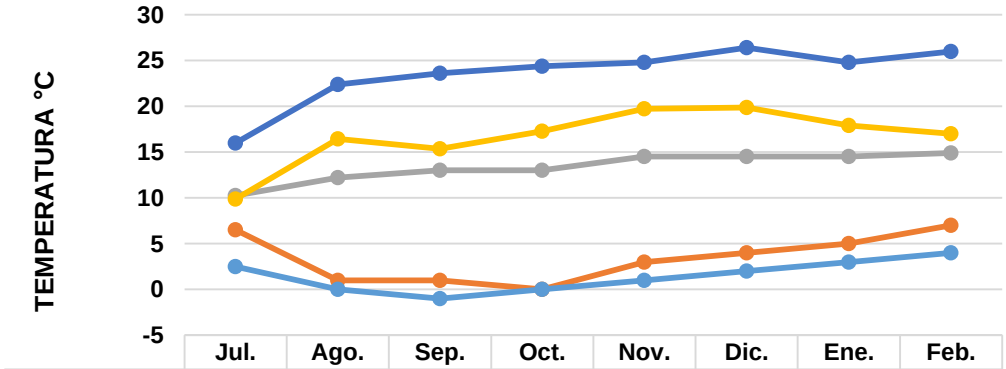
4.1. Temperaturas

Durante la investigación se registraron las temperaturas máximas y mínimas en el interior del ambiente controlado, así como también, en el ambiente exterior. El registro de temperaturas, se efectuó desde el mes de julio de 2021 hasta febrero de 2022, periodo en el que se desarrolló la investigación en campo.

La Figura 10, muestra las curvas de variación de temperaturas extremas y temperaturas promedio registradas en el interior y el exterior del invernadero. Se advierte que la temperatura en el interior del invernadero fue mayor que en el exterior, condición que favoreció el desarrollo de plantas de ruibarbo

Figura 10.

Temperaturas máximas y mínimas dentro y fuera del ambiente controlado



	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.
MAX-INT	16	22,4	23,6	24,4	24,8	26,4	24,8	26
MIN-INTE	6,5	1	1	0	3	4	5	7
X	10,25	12,22	13,03	13,03	14,53	14,53	14,53	14,9
MAX-EXT	9,88	16,44	15,36	17,28	19,72	19,88	17,92	17
MIN-EXT	2,5	0	-1	0	1	2	3	4

Nota: Elaboración propia, 2024

La etapa de prendimiento de hijuelos fue un periodo crítico para asegurar el desarrollo de la investigación. Esta etapa coincidió con el mes de julio que registro una temperatura mínima promedio de 6.5°C en el interior del ambiente protegido, 4°C más que la temperatura mínima promedio en el exterior del ambiente que fue de 2.5°C. En este mismo mes, se registraron temperaturas máximas de 16°C y 9,88°C en el interior y el exterior del invernadero, respectivamente. Las temperaturas máximas y mínimas en el interior del

invernadero se encontraban en los parámetros convenientes para el cultivo, lo cual favoreció al prendimiento de los hijuelos, ya que estos, requerían de bajas temperaturas para el crecimiento de brotes foliares y de la misma planta.

Al respecto Bradasic y Arancibia (2007) mencionan que, para obtener peciolos de óptima calidad y rendimiento, las temperaturas primavera/verano deben fluctuar entre 8 a 13°C y las del periodo invernal de letargo deben ser cercanas a los 0°C.

Asimismo, Navarro (2019) complementa lo descrito anteriormente mencionando que la temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de ruibarbo en invierno tiene que rodear los -5 y 3°C, las temperaturas óptimas para el crecimiento de los peciolos en primavera entre 8 y 13°C.

Según Raffo (2005) cada especie tiene una temperatura mínima, máxima y óptima para su desarrollo y sobrevivencia; sin embargo, los cultivos pueden adaptarse a diferentes temperaturas debido a su amplia plasticidad estructural y fisiológica.

4.2. Análisis de suelo

Los resultados de análisis físico-químico del suelo del área experimental se presentan en la Tabla 9, con la finalidad de conocer las características de suelo con y sin aplicación de biocarbón.

Como se puede observar en la Tabla 9, la clase textural del suelo sin biocarbón es franco arcilloso arenoso (FYA) con proporción de 47% de arena y 24% de limo y 29% de arcilla. Con 53,7% de grava, también se puede observar un pH de 7,46 y una conductividad eléctrica de 0,152 dS/m, con capacidad de intercambio catiónico de 8,34 meq. En cambio, el suelo con la aplicación de biocarbón activado cambió su clase textural a franco arcillo (FY), mostrándonos un pH de 7.4 con una conductividad eléctrica de 0,203 dS/m y 12,33 meq de capacidad de intercambio catiónico.

Al respecto FIC-R IDI (2017) indica que, idealmente, el suelo debe ser profundo, de textura media (suelo franco), sin problemas de drenaje, con alto contenido de materia orgánica, de alta fertilidad natural, de pH en el rango de 6 a 7, baja salinidad (< 1 mmhos/cm).

Tabla 9.

Análisis físico químico del suelo, con y sin enmienda de biocarbón, para la multiplicación de ruibarbo

Parámetros de análisis	Unidades	Resultados sin Biocarbón	Resultados con Biocarbón
Arena	%	47	37
Limo	%	24	32
Arcilla	%	29	31
Clase Textural	_	FYA	FY
Graba	%	53,7	21,3
pH en agua 1:5	_	7,64	7,47
pH en KCl 1:5	_	6,5	6,52
Conductividad eléctrica en agua	dS/m	0,152	0,203
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100g	8,34	12,33
Materia orgánica	%	1,25	4,93
Nitrógeno total	%	0,1	0,79
Fosforo	ppm	15,04	78,63

Nota: Fuente, elaboración propia en base a datos de IBTEN (2019).

4.3. Porcentaje de prendimiento

4.3.1. Análisis de varianza

Los resultados de análisis de varianza para la variable, porcentaje de prendimiento de plantas de ruibarbo, se presentan en la Tabla 10. Según estos resultados, las diferencias entre tratamientos fueron altamente significativos a un nivel de significancia del 5%, es decir que, los 3 niveles de gallinaza junto con el biocarbón activado influyeron en el porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo establecidos en ambiente protegido, con un bajo

coeficiente de variación de 3.74%, que se explica por la baja dispersión de los datos obtenidos y alta confiabilidad experimental.

Tabla 10.

Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	3	526,20	175,40	15,17	0,001 **
Error	8	92,52	11,56		
Total	11	618,72			
Promedio	90,98				
CV (%)	3,74				

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrado medio; F = F calculada; Pr>F = Probabilidad de F; **= Altamente significativo; *=significativo

Nota: Elaboración propia, 2024

Los resultados de la Tabla 10, son similares a los reportados por Poma (2017), en su investigación titulada “Efecto de diferentes sustratos en la producción de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum* L.) en la localidad de Ventilla El Alto”, esta investigadora reportó que en el análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento el valor de FC (calculado) fue mejor que el valor de FT (tabulado) por consiguiente que se tuvo diferencias en el porcentaje de prendimiento entre cada tratamiento, siendo esta diferencia significativa a un nivel de significancia de 95%, en conclusión, cada proporción de sustrato aplicado influyó directamente en el porcentaje de prendimiento.

4.3.2. Prueba de Duncan para porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo

La prueba de medias Duncan para porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo, permitió identificar 2 rangos de significancia de similares características (Tabla 11 y Figura 11). El primer rango muestra el mayor porcentaje de prendimiento comprendido entre 97,45% (T2) y 100 % (T3).

Tabla 11.

Comparación de medias Duncan (0,05) para porcentaje de prendimiento, de acuerdo a tratamientos

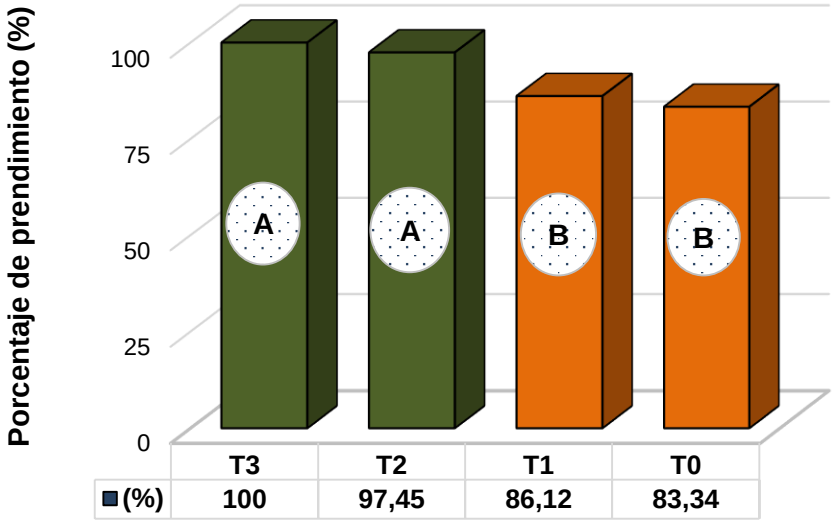
Tratamientos	Promedios (Porcentaje de prendimiento)	Duncan (α = 5%)
T3	100	A
T2	97,45	A
T1	86,12	B
T0	83,34	B

Nota: Elaboración propia, 2024

El segundo rango de significancia correspondió a los tratamientos T1 y T0, con porcentajes de prendimiento promedio de 86,12% y 83,34%, respectivamente.

Figura 11.

Agrupación de Duncan (0.05) para el porcentaje de prendimiento de hijuelos de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón



T0 (Testigo), T1 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 3 kg/m^2 de gallinaza), T2 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 4 kg/m^2 de gallinaza), T3 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 5 kg/m^2 de gallinaza)

Nota: Elaboración propia, 2024

La prueba de promedios de Duncan mostró que los tratamientos T3 y T2, en las que se usó mayor cantidad de gallinaza (5 kg/m^2 y 4 kg/m^2) y carbón activado (2 kg/m^2), fueron las que marcaron diferencia por que obtuvieron los mayores porcentajes de prendimiento promedio, que puede atribuirse al estado fisiológico de las plantas madres y al efecto de la gallinaza existente en el suelo. En cambio, el tratamiento T1, en el que se usó 3 kg/m^2 de gallinaza y 2kg/m^2 biocarbón activado, y el tratamiento T0, en el que no se usó gallinaza, registraron menor porcentaje de prendimiento promedio.

La pérdida de plantas de ruibarbo trasplantadas en cada tratamiento, puede atribuirse a la diferencia en estados fisiológicos de los hijuelos y a daños físicos en los hijuelos, ocasionados en el momento de la separación de tallos y raíces de la planta madre. Los hijuelos muertos fueron reemplazados en el refalle, que se realizó a los 15 días después del trasplante, utilizando hijuelos provenientes de plantas madre con buenas características.

Lazo (2016) menciona que, los abonos orgánicos (gallinaza) aportan nutrientes al suelo como N, P y K. Al respecto, Suquilandia (1996), amplia la información indicando que los abonos orgánicos que tienen alto contenido de fosforo, son beneficiosas para las plantas, cuando las plantas absorben fosforo por las raíces, permite un rápido y vigoroso crecimiento inicial de las plantas.

4.4. Altura de planta

4.4.1. Análisis de varianza

En la Tabla 12, se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA) para la altura de planta de ruibarbo, resultante de un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos. Según estos resultados, se tienen diferencias altamente significativas en altura de planta, entre tratamientos con diferentes niveles de gallinaza y Biocarbón activado, a un nivel de significancia del 5%, resultado que indica que, los diferentes niveles de gallinaza con biocarbón activado influyeron en la altura de planta de ruibarbo. Asimismo, el coeficiente de variación de 9.32 % nos indica que los valores analizados son precisos y están en el rango de aceptación, dándonos confianza experimental de los resultados obtenidos.

Tabla 12.

Análisis de varianza para la altura de planta de ruibarbo bajo niveles de gallinaza y Biocarbón activado

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	3	570.82	190.27	15.16	0.0012 **
Error	8	100.40	12.55		
Total	11	671.23			
Promedio	38.02				
CV (%)	9.32				

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrado medio; F = F calculada; Pr>F = Probabilidad de F; **= Altamente significativo; *=significativo

Nota: Elaboración propia, 2024

Estos resultados son similares a los repostados por Poma (2017) quien indicó que, de acuerdo al análisis de varianza realizado, se llegó a determinar que, si existe diferencias significativas en la altura de la planta de ruibarbo en cada tratamiento, dándonos como resultado que las proporciones de substratos aplicados, influyeron en esta variable.

4.4.2. Prueba de Duncan para altura de planta de ruibarbo

La comparación de medias Duncan para altura de planta de ruibarbo, resultado del efecto de diferentes dosis de gallinaza y biocarbón activado, permitió identificar 4 rangos de significancia en la altura de planta. El primer rango de significancia está conformado por el tratamiento T3 (20 t/ha biocarbón y 50 t/ha gallinaza) que registró la mayor altura de planta (48,09 cm).

El segundo rango de significancia fue del tratamiento T2 (20 t/ha biocarbón y 40 t/ha gallinaza) con un promedio de 39,56 cm, seguido del tercer rango que correspondió al tratamiento T1 (20 t/ha biocarbón y 30 t/ha gallinaza) con un promedio de 35,28 cm de altura de planta. Finalmente, el tratamiento T0 (testigo) en el que no se aplicó gallinaza, registro plantas de menor altura, con un promedio de 29,13 cm.

Las diferencias en altura de planta encontradas en esta investigación se adecuan a lo descrito por Suquilandia (1996), quien mencionó que los abonos orgánicos con alto contenido de fosforo (gallinaza) permiten un rápido y vigoroso crecimiento inicial de las plantas.

Tabla 13.

Comparación de medias Duncan (0,05) para altura de planta de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos

Tratamientos	Promedios altura de plantas (cm)	Duncan (α = 5%)
T3	48,09	A
T2	39,56	B
T1	35,28	B C
T0	29,13	C

Nota: Elaboración propia, 2024

La Figura 12, ilustra los resultados de la Tabla 13, mostrando las diferencias importantes en alturas de planta de ruibarbo, sometidas a tratamientos con niveles de gallinaza y biocarbón activado. La diferencia de altura entre las plantas de ruibarbo con y sin aplicación de gallinaza y biocarbón, fue de 19 cm.

En trabajos similares podemos mencionar a Piña (2014), quien determinó que con una aplicación de la dosis de 4 t/ha de gallinaza en el frijol, obtuvo mayor promedio de altura de planta debido al incremento de los macronutrientes (nitrógeno, potasio, entre otros). Barrera (2012), también informa que, a mayor dosis de gallinaza, tienden a tener mayor efecto en el desarrollo de la planta, por que incrementan la fertilidad del suelo a través de la mineralización.

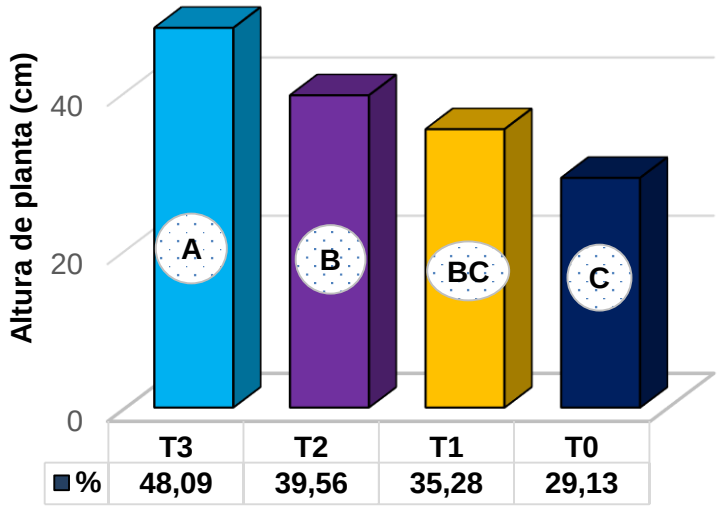
Acuña (2003), complementa lo descrito anteriormente señalando que, dadas las bondades de las aplicaciones de gallinaza se determinó un incremento en la altura del cultivo; es decir que hubo mayor crecimiento de las células.

Los valores hallados en cuanto a mayor promedio de altura de planta, también pueden atribuirse a la incorporación de biocarbón activado. Al respecto Agegnehu *et al.* (2016), informan que el biocarbón desencadena una serie de alteraciones físico-químicas que

terminan consolidando fertilidad y calidad del suelo beneficiando al desarrollo de las plantas.

Figura 12.

Agrupación de Duncan (0.05) para la altura de planta de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón activado



T0 (Testigo), T1 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 3 kg/m^2 de gallinaza), T2 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 4 kg/m^2 de gallinaza), T3 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 5 kg/m^2 de gallinaza),

Nota: Elaboración propia, 2024

4.5. Número de hojas por planta

4.5.1. Análisis de varianza

Los resultados del análisis de varianza (ANVA), realizado a la variable número de hojas de ruibarbo por planta, muestran que, con la aplicación de niveles de gallinaza y biocarbón activado, se tienen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, a un nivel de significancia del 5%. De acuerdo a estos resultados, se infiere que, los diferentes niveles de gallinaza asociado con el biocarbón activado, tuvieron un efecto en la cantidad de hojas por planta de ruibarbo. En este análisis se tuvo un coeficiente de variación de 14.08% que nos indica que los valores analizados se encuentran en el rango de aceptación para este tipo de investigación y nos proporciona confianza experimental de los resultados obtenidos.

Tabla 14.

Análisis de varianza para número de hojas por planta de ruibarbo, bajo niveles de gallinaza y Biocarbón activado

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	3	16.35	5.45	5.03	0.0301 *
Error	8	8.66	1.08		
Total	11	25.01			
Promedio (cm)	7.39				
CV (%)	14.08				

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrado medio; F = F calculada; Pr>F = Probabilidad de F; **= Altamente significativo; *=significativo

Nota: Elaboración propia, 2024

Estos resultados son similares a los reportados por Poma (2017), quien estableció que, se tiene diferencias en el número de hojas por planta de ruibarbo entre los tratamientos, siendo esta diferencia significativa a un nivel de significancia de 95%, lo que se traduce en que las diferentes proporciones de sustratos aplicados, si tuvieron una influencia en el número de hojas/planta, con un coeficiente de variación de 11.40 %.

4.5.2. Prueba de Duncan para número de hojas de ruibarbo por planta

La prueba de medias de Duncan permitió identificar 2 rangos de significancia para el número de hojas por planta de ruibarbo, resultado del efecto de dosis de aplicación de gallinaza junto con biocarbón activado. El primer rango de significancia está conformado por el tratamiento T2 (40 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbón) que registró la mayor cantidad promedio de hojas con 9,25 hojas/planta. El segundo rango de significancia corresponde a los tratamientos T3 (50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbón), T1 (30 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbón) y T0 (Sin gallinaza), con 7,24 hojas/planta, 7.01 hojas/planta y 6.04 hojas/planta, respectivamente. En este rango, tres tratamientos mostraron ser estadísticamente iguales, en la cantidad de hojas obtenidas por planta de ruibarbo.

Tabla 15.

Comparación de medias Duncan (0,05) para número de hojas de ruibarbo por planta, de acuerdo a tratamientos

Tratamiento	Promedio (Numero de hojas)	Duncan (α = 5%)
T2	9,25	A
T3	7,24	B
T1	7,01	B
T0	6,04	B

Nota: Elaboración propia, 2024

La Figura 13, muestra la cantidad total de hojas obtenidas con el tratamiento T2 (40 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbón). Se advierte que se obtuvo hojas grandes y medianas, con peciolos medianos y largos, que se aproximan a tamaños comerciales de esta especie.

Figura 13.

Cantidad de hojas de ruibarbo obtenidas en el tratamiento T2 de la investigación

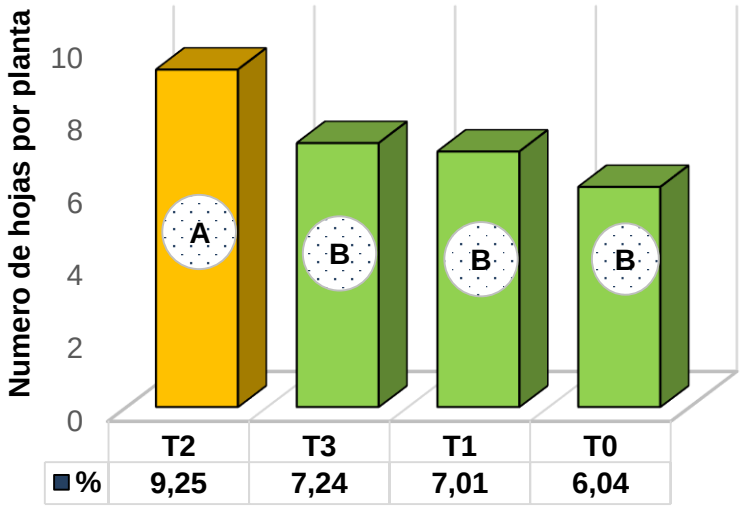
Nota: Elaboración propia, 2024

La Figura 14 muestra gráficamente los dos rangos de significancia encontrados por la prueba de medias Duncan, para el número de hojas por planta de ruibarbo. Como se mencionó en la parte teórica de esta investigación, la parte comercial del ruibarbo son los

peciolos que están estrechamente relacionados con las láminas de hojas, por tanto, a mayor cantidad de hojas, mayor será la cantidad de peciolos que se podrán comercializar.

Figura 14.

Agrupación de Duncan (0.05) para número de hojas/planta de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón



T0 (Testigo), T1 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 3 kg/m^2 de gallinaza), T2 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 4 kg/m^2 de gallinaza), T3 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 5 kg/m^2 de gallinaza),

Nota: Elaboración propia, 2024

Con el tratamiento de 40 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón (T2), se obtuvo más de 9 hojas por planta en promedio, 3 hojas más que el tratamiento testigo (T0) que no tuvo gallinaza (Figura 14).

Según estos resultados se infiere que, los niveles de gallinaza y biocarbón activado aplicados si tuvieron un efecto en el número de hojas por planta. Se deduce que la gallinaza interviene en el proceso de desarrollo debido al alto contenido de nitrógeno, ya que este elemento favorece a la multiplicación de células dando lugar a la formación de hojas nuevas. Al respecto, Magdoff y Amadon (1980) mencionan que la gallinaza tiene bondades como fuente de nutriente en el desarrollo de cultivos.

Los resultados de la Tabla 15, son diferentes a los reportados por Poma (2017) quien encontró que en el análisis de medias de Duncan realizado para el número de hojas por

planta de cuatro tratamientos, aprecia la formación de dos grupos, el primer grupo formado por el tratamiento T2 que registró el mayor número de hojas con 11 hojas/planta, seguido del segundo grupo conformado por T1 (testigo) con 10.66 hojas/planta, T3 y T4 con 10.33 hojas/planta, resultando ambos tratamientos con menores cantidades de hojas por planta.

4.6. Diámetro de peciolo

4.6.1. Análisis de varianza

Los resultados de análisis de varianza para el diámetro de peciolo se presentan en la Tabla 16. Según estos resultados, el diámetro de peciolo mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos en estudio, en consecuencia, los diferentes niveles de gallinaza con biocarbón activado influyeron en el diámetro de peciolo, a un nivel de significancia del 95%. El coeficiente de variación establecido con el ANVA fue de 11.48% que nos indica que los valores analizados son aceptables para este tipo de investigación encontrándose en el rango de aceptación < a 30%.

Tabla 16.

Análisis de varianza para el diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo, bajo niveles de gallinaza y Biocarbón activado

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	3	0,51	0,17	11,66	0,0027 *
Error	8	0,12	0,01		
Total	11	0,63			
Promedio (cm)	1,06				
CV(%)	11,48				

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrado medio; F = F calculada; Pr>F = Probabilidad de F; **= Altamente significativo; *=significativo

Nota: Elaboración propia, 2024

Los resultados de la Tabla 16 son diferentes a lo reportado por Poma (2017) quien indicó que, de acuerdo al análisis de varianza realizado a la variable diámetro de peciolo, no se tiene diferencias en los diámetros por efecto de los tratamientos estudiados y por ende las proporciones de humus de lombriz y arena aplicadas, no influenciaron en el diámetro de peciolo de ruibarbo.

Figura 15.

Registro del diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo

Nota: Elaboración propia, 2024

4.6.2. Prueba de Duncan para diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo

El resultado de la prueba de medias de Duncan para el diámetro de peciolo, a un nivel de significancia del 5%, muestra la conformación de dos rangos de significancia con similar diámetro de peciolo. El primer rango, está conformado por los tratamientos T2, T3 y T1, con diámetros de peciolo comprendidos entre 1,09 y 1,23 cm. En cambio, el segundo rango, está formado por el tratamiento testigo T0 que registró peciolos de 0,71 cm en promedio.

Tabla 17.

Comparación de medias Duncan (0,05) para diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos

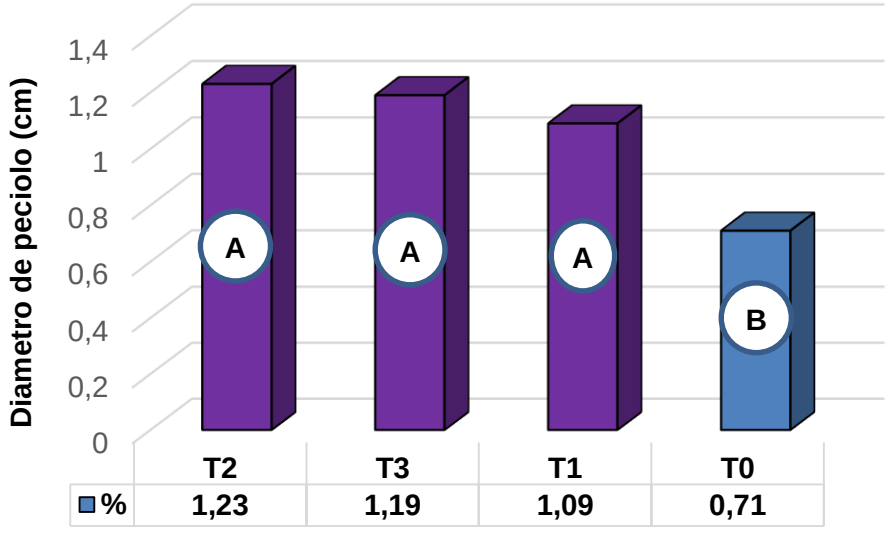
Tratamiento	Promedio	Duncan (α = 5%)
T2	1,23	A
T3	1,19	A
T1	1,09	A
T0	0,71	B

Nota: Elaboración propia, 2024

La Figura 16, muestran gráficamente las diferencias entre diámetros de peciolo, como resultado de los tratamientos en estudio. De acuerdo a los resultados de promedios de Duncan, existe poca diferencia en el diámetro de peciolo obtenido con los tratamientos T2 y T3, indicando un efecto similar al usar 40 t/ha y 50 t/ha de gallinaza, respectivamente. En cambio, si existe diferencias importantes entre el tratamiento T2 con el testigo T0, de más de 0,5 cm de diámetro de peciolo por efecto del uso de gallinaza y biocarbón activado.

Figura 16.

Agrupación de Duncan (0.05) para diámetro de peciolo en hojas de ruibarbo, entre niveles de biocarbón y gallinaza.



T0 (Testigo), T1 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 3 kg/m^2 de gallinaza), T2 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 4 kg/m^2 de gallinaza), T3 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 5 kg/m^2 de gallinaza)

Nota: Elaboración propia, 2024

Según Coarite (2000), el diámetro de tallo o peciolo para todas las especies indica el vigor de la planta para su desarrollo que es lo que se busca en toda producción. Asimismo, la absorción más intensa de nitrógeno del suelo por las plantas y su empleo para la síntesis de aminoácidos y proteínas tiene lugar en el periodo máximo de crecimiento y formación de órganos vegetativos como tallos y hojas (Yagondi 1996, citado por Huito, 2005).

4.7. Longitud de peciolo

4.7.1. Análisis de varianza

Los resultados de análisis de varianza (ANVA) presentados en la Tabla 18, muestran la existencia de diferencias estadísticas significativas en la longitud de peciolos, en plantas de ruibarbo sometidas a diferentes tratamientos con gallinaza y biocarbón activado, a un nivel de significancia del 5%. El coeficiente de variación fue 10,72%, valor que indica que los datos registrados se encuentran dentro del rango de aceptación para la investigación, además de ser la expresión de la baja dispersión de los datos registrados. De acuerdo a estos resultados, los diferentes niveles de gallinaza asociados al biocarbón activado, influyeron en la longitud de peciolo de plantas de ruibarbo.

Tabla 18.

Análisis de varianza para longitud de peciolo en hojas de ruibarbo, bajo niveles de Biocarbón activado y gallinaza

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	3	218,92	72,97	8,35	0,0076 *
Error	8	69,94	8,74		
Total	11	288,86			
Promedio (cm)	27,58				
CV (%)	10,72				

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrado medio; F = F calculada; Pr>F = Probabilidad de F; **= Altamente significativo; *=significativo

Nota: Elaboración propia, 2024

Similares resultados fueron reportados por Poma (2017), al indicar que, se tiene diferencias en la longitud de peciolos ruibarbo entre los tratamientos, siendo estas diferencias significativas a un nivel de significancia del 95 % y los deferentes volúmenes de sustratos aplicados en cada uno de los tratamientos influyeron en la longitud de peciolo, por otra parte, el coeficiente de variación de 3.71% nos indica que los valores analizados son buenos y está dentro del margen de aceptación.

4.7.2. Prueba de Duncan para longitud de peciolo en hojas de ruibarbo

El resultado de la prueba de medias de Duncan a un nivel de significancia del 5%, muestra la conformación de tres rangos de similar longitud de peciolos. El primer rango está formado por el tratamiento T3 (50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbon) con el cual se obtuvo peciolos más largos de 33,88 cm en promedio. El segundo rango, conformado por el tratamiento T2 (40 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbon) que registro 29,13 cm en promedio.

Tabla 19.

Comparación de medias Duncan (0,05) para longitud de peciolo en hojas de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos

Tratamiento	Promedio (Longitud de peciolo)	Duncan (α = 5%)
T3	33,88	A
T2	29,13	A B
T1	23,90	B
T0	23,41	B

Nota: Elaboración propia, 2024

El tercer rango está conformado por los tratamientos T1 (30 t/ha de gallinaza y 20 t/ha biocarbon) y T0 (sin gallinaza), registraron 23,90 y 23,41 cm en promedio, respectivamente. Como la longitud de peciolo en ambos tratamientos son próximas, la prueba de medias Duncan las junto en un solo grupo.

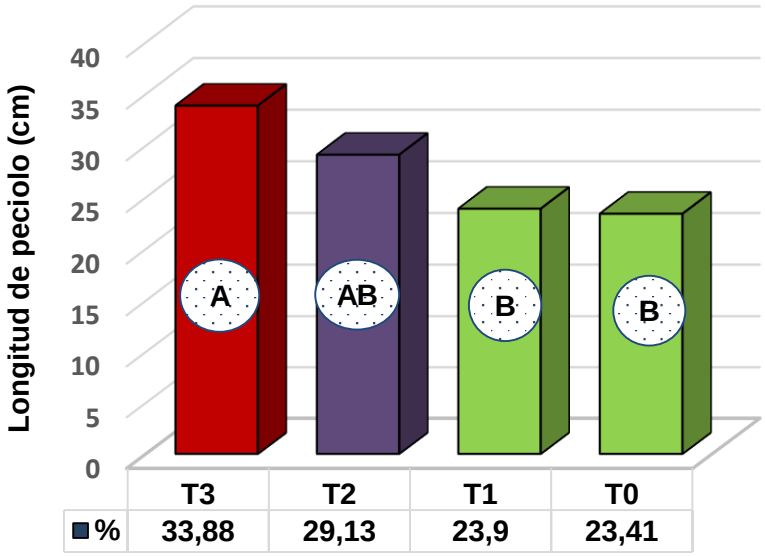
La Figura 17, muestra graficamente las diferencias en la longitud de peciolo de ruibarbo de los tratamientos estudiados. Segun estos resultados, existe una importante diferencia de mas de 10 cm en el largo de peciolos entre el tratamiento T3 y el tratamiento T0. Tambien la diferencia es notable en el largo de peciolos del tratamiento T2, respecto a los peciolos del tratameinto testigo T0, de más de 5 cm. De acuerdo a esta tendencia, a mayor cantidad de gallinaza se tendran peciolos mas largos.

Asi mismo, el T1 y el testigo T0, tuvieron peciolos de similar longitud, siendo los mas cortos de toda la investigacion.

Los promedios de longitud de peciolos de ruibarbo presentados en la Tabla 19 y Figura 17, son menores que los reportados por Poma (2017), quien indicó que, la prueba de Duncan para la longitud de peciolos en los cuatro tratamientos, mostró la formación de dos grupos de los cuales el formado por el T2 (humus de lombriz: arena 3:1) con 54.47 cm y el T1 (turba: arena 3:1) que es el testigo con 52.03 cm conforman el grupo con mayores longitudes de peciolo, siendo sus promedios significativamente superiores a los registrados por el T3 (humus de lombriz: arena 2:2) con 49.5 cm y el T4 (humus de lombriz: arena 1:3) de 47.77 cm, que forman el segundo grupo.

Figura 17.

Agrupación de Duncan (0.05) para longitud de peciolo de hojas de ruibarbo, entre niveles de biocarbón y gallinaza.



T0 (Testigo), T1 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 3 kg/m^2 de gallinaza), T2 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 4 kg/m^2 de gallinaza), T3 (2 kg/m^2 Biocarbón activado y 5 kg/m^2 de gallinaza)

Nota: Elaboración propia, 2024

Al respecto, Barrera (2012), informa que mayores dosis de gallinaza, tienden a tener mayor efecto en el desarrollo de la planta, porque incrementan la fertilidad del suelo a través de la mineralizacion de la materia orgánica.

4.8. Rendimiento de materia verde (Kg/m^2)

4.8.1. Análisis de varianza

La variable derivada, rendimiento de materia verde, se calculó mediante la relación de peso total de hojas (kg) obtenidas por unidad de superficie (m^2) de cada unidad experimental. La Tabla 20, muestra los resultados del análisis de varianza (ANVA) efectuado a la variable rendimiento de materia verde (kg/m^2), que pone en evidencia que existe diferencia estadística altamente significativa para los tratamientos en estudio, el cual puede atribuirse al efecto conjunto de la aplicación de niveles de gallinaza asociado al biocarbón activado. En el caso del coeficiente de variación de 25.46% nos indica que los datos de rendimiento de materia verde están en un amplio rango de variación y son confiables porque están dentro del margen de aceptación < a 30%.

Tabla 20.

Análisis de varianza para rendimiento de materia verde de ruibarbo, bajo niveles de gallinaza y biocarbón activado

Fuente de Variación	GL	SC	CM	F	Pr > F
Tratamiento	3	21.83	7.28	11.39	0.0029 **
Error	8	5.11	0.64		
Total	11	26.94			
Promedio (kg/m^2)	3.14				
CV(%)	25.46				

GL=Grados de libertad; SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrado medio; F = F calculada; Pr>F = Probabilidad de F; **= Altamente significativo; *=significativo;

Nota: Elaboración propia, 2024

En trabajos similares, Poma (2017) encontró que de acuerdo al ANVA existieron diferencias en el rendimiento de materia verde de los cuatro tratamientos, siendo esta diferencia significativa a un nivel de significancia del 95% y por lo tanto se tiene una influencia directa por parte de las proporciones utilizadas. En el caso del coeficiente de variación de 7,7% nos indica que los resultados fueron confiables y que se tuvo un buen manejo en cada tratamiento.

Figura 18.

Registro del peso total de peciolos de ruibarbo con una balanza electrónica.

Nota: Elaboración propia, 2024

4.8.2. Prueba de Duncan para rendimiento de materia verde de ruibarbo

El resultado de la prueba de medias de Duncan a un nivel de significancia (5%), muestra la conformación de tres rangos de significancia, que tuvieron diferentes rendimientos de materia verde, debido a la existencia de diferencia estadística altamente significativa en esta variable, como efecto de niveles de gallinaza y carbón activado.

Tabla 21.

Comparación de medias Duncan (0,05) rendimiento de materia verde de ruibarbo, de acuerdo a tratamientos

Tratamiento	Promedio (Rendimiento Kg/m2)	Duncan (α = 5%)
T3	5,10	A
T2	3,13	B
T1	3,03	B
T0	1,29	C

Nota: Elaboración propia, 2024

La Tabla 21 muestra que el primer rango está conformado por el tratamiento T3 con el que se obtuvo el mayor rendimiento de materia verde en promedio (5,10 kg/ha). El segundo

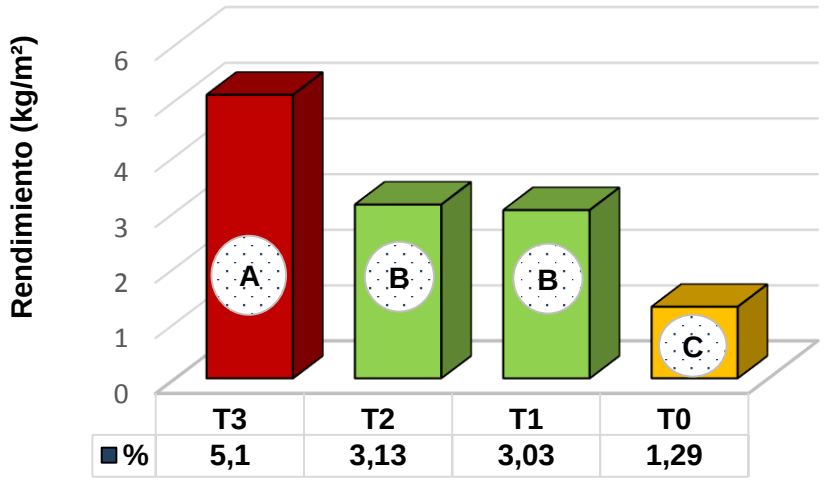
rango está conformado por tratamientos T2 y T1, que registraron similar rendimiento de materia verde, 3,13 y 3,03 kg/ha, respectivamente.

El tercer rango de significancia está conformado por el tratamiento testigo T0, que no tuvo el aporte de gallinaza al substrato, y en esas condiciones, obtuvo un rendimiento de 1,29 kg/ha de materia verde, el rendimiento más bajo de la investigación.

La representación gráfica de los resultados de la prueba de medias Duncan (Figura 19), muestra la diferencia de rendimiento de materia verde que se obtuvo, en consecuencia, la diferencia en rendimiento del tratamiento T3 y el tratamiento testigo T0, es de 3,81 kg/ha, valor importante para la producción de ruibarbo.

Figura 19.

Agrupación de Duncan (0.05) para rendimiento de materia verde de ruibarbo, entre niveles de gallinaza y biocarbón



T0 (Testigo), T1 (2 kg/m² Biocarbón activado y 3 kg/m² de gallinaza), T2 (2 kg/m² Biocarbón activado y 4 kg/m² de gallinaza), T3 (2 kg/m² Biocarbón activado y 5 kg/m² de gallinaza)

Nota: Elaboración propia, 2024

La diferencia de rendimientos entre los tratamientos T2 y T1, respecto al tratamiento testigo T0, es reducida (1,84 kg/ha), sin embargo, se advierte que el uso de gallinaza y biocarbón activado, mejora el desarrollo de hojas y peciolos, que se traduce en mayores rendimientos de materia verde. Al respecto Barrera (2012), informa que mayores dosis de gallinaza,

tienden a tener mayor efecto en el desarrollo de la planta, porque incrementan la fertilidad del suelo a través de la mineralización de la materia orgánica.

Figura 20.

Registro del peso total de hojas de ruibarbo de un tratamiento con gallinaza y biocarbón activado.

Nota: Elaboración propia, 2024

De acuerdo a los resultados anteriormente descritos podemos indicar que, a mayores dosis de aplicación de gallinaza, mayor es el efecto fisiológico en desarrollo de la planta, que se tradujeron en un importante incremento de la producción. Esta afirmación es corroborada por Gayan (1996) quien indica que la gallinaza juega un papel importante en la característica agronómica por lo que a mayor aplicación de fertilizante orgánico mayor es el desarrollo vegetativo; es por ello que, la gallinaza es uno de los abonos de gran valor porque producen efectos positivos sobre la vegetación, lo cual hace referencia a los resultados obtenidos.

4.9. Costos parciales de producción

Siguiendo la recomendación del método de análisis económico propuesto por CIMMYT (1998), se obtuvo el presupuesto parcial de la investigación mediante el cual se calculó el beneficio bruto, el beneficio neto y costos de producción de los tratamientos en estudio.

4.9.1. Descripción de los costos

La Tabla 22, muestra el presupuesto parcial de los cuatro tratamientos en estudio. El análisis de costos parciales fue efectuado en base a las prácticas agronómicas realizadas en ambiente controlado, que se iniciaron con la preparación de sustrato, seguido de la aplicación de biocarbón activado y gallinaza, trasplante de hijuelos, cosecha y empaquetado, finalizando con el transporte para la comercialización del producto obtenido (peciolos de ruibarbo).

4.9.1.1. Ingreso bruto

El ingreso bruto de cada uno de los tratamientos, fueron obtenidos a partir de los rendimientos promedio, multiplicado por el precio de venta por kilogramo de peciolos de ruibarbo, que para esta investigación fue de 80 Bs/kg. Esta variable económica varía de acuerdo a quien, y en qué condiciones realice la venta. Dado que los precios varían a menudo durante el año, para este dato se tomó de referencia el precio del Supermercado HAAS de productos orgánicos de la ciudad de Cochabamba. Según los datos de la Tabla 17, se tuvo un rendimiento total de 12,55 kg/m^2 en toda la investigación, que se traduce en un ingreso bruto total de 1004 Bs.

Los ingresos brutos de los tratamientos en estudio, fluctuaron entre 103,2 y 408,0 Bs. De acuerdo a este análisis, se infiere que, a mayor rendimiento de peciolos de ruibarbo, mayor será el ingreso bruto. Asimismo, la Tabla 22 muestra que el rendimiento de peciolos aumenta favorablemente cuando la dosis de gallinaza y biocarbón también se incrementa. Al respecto CIMMYT (1998), menciona que las condiciones de los productores son distintas a las condiciones experimentales, por lo tanto, los rendimientos experimentales generalmente son mayores, comparados con los rendimientos en parcela de productor.

En cuanto a egresos de la investigación, se incluyeron los costos por: obtención de hijuelos, remoción del suelo en el invernadero, mullido y nivelado, trasplante, riego, costo por labores

culturales, cosecha, empaquetado y transporte del producto terminado a los centros de comercialización.

Tabla 22.

Costos totales de los tratamientos para el cultivo de ruibarbo por metro cuadrado (m^2)

PARÁMETROS ECONÓMICOS	TRATAMIENTOS			
	T0	T1	T2	T3
INGRESOS				
Rendimiento (kg/m^2)	1,29	3,03	3,13	5,1
Valor de ruibarbo	80	80	80	80
Ingresos brutos (Bs)	103,2	242,4	250,4	408
EGRESOS				
Matas de ruibarbo	12	12	12	12
Removido del suelo	8,58	8,58	8,58	8,58
Mullido y nivelado	4,29	4,29	4,29	4,29
Trasplante y riego	4,29	4,29	4,29	4,29
Labores culturales	28,95	28,95	28,95	28,95
Cosecha, empaquetado	12,87	12,87	12,87	12,87
Transporte	8	8	8	8
GASTOS ESPECIALES				
Gallinaza	0	114,075	152,1	190,125
Biocarbón	0	52,65	52,65	52,65
Costos variables	78,98	245,705	283,73	190,125
Costos fijos	15	15	15	15
Costos de producción	93,98	260,705	298,73	336,755
Ingreso neto (Bs)	9,22	18,305	48,33	71,245
Relación B/C Bs	1,10	0,93	0,84	1,21

T0 = 0 kg/m^2 gallinaza y 0 kg/m^2 biocarbón T1 = 3 kg/m^2 gallinaza y 2 kg/m^2 biocarbón
T2 = 4 kg/m^2 gallinaza y 2 kg/m^2 biocarbón T3 = 5 kg/m^2 gallinaza y 2 kg/m^2 biocarbón

Nota: Elaboración propia, 2024

Asimismo, se incluyeron los gastos especiales realizados, por la compra de gallinaza y biocarbón activado. El costo por la adquisición de gallinaza, se incrementó

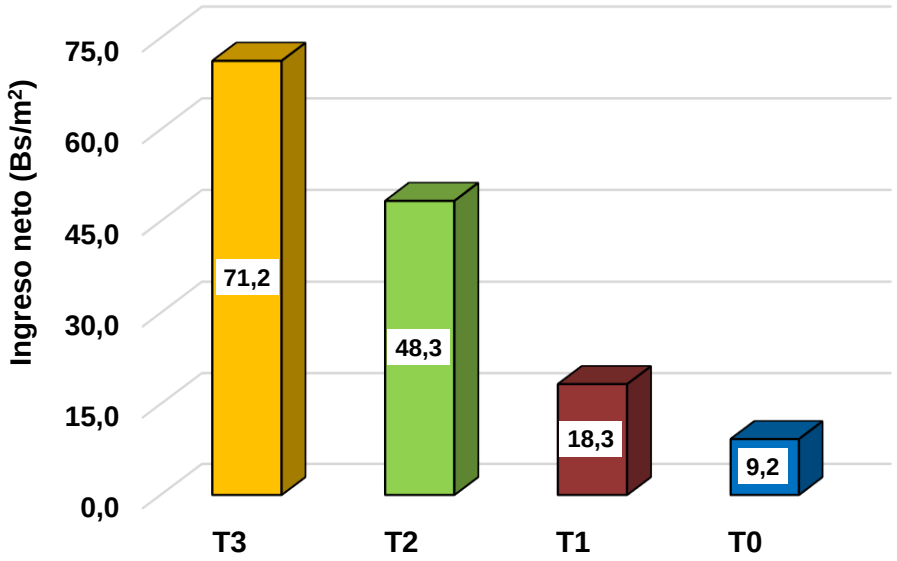
proporcionalmente, al aumento de los niveles de aplicación de gallinaza en los tratamientos T1, T2 y T3. En cambio, el costo por la adquisición de biocarbón activado, permaneció constante para los tratamientos T1, T2 y T3 (Tabla 22).

4.9.2. Ingreso neto

Los resultados de la Figura 21, muestra que el beneficio neto calculado para los tratamientos en estudio, fluctuaron entre 9.2 Bs y 71.2 Bs por metro cuadrado de superficie cultivada de ruibarbo en condiciones de ambiente controlado (Invernadero).

Figura 21.

Gráfico de ingreso neto calculado para cada tratamiento en estudio.



Nota: Elaboración propia, 2024

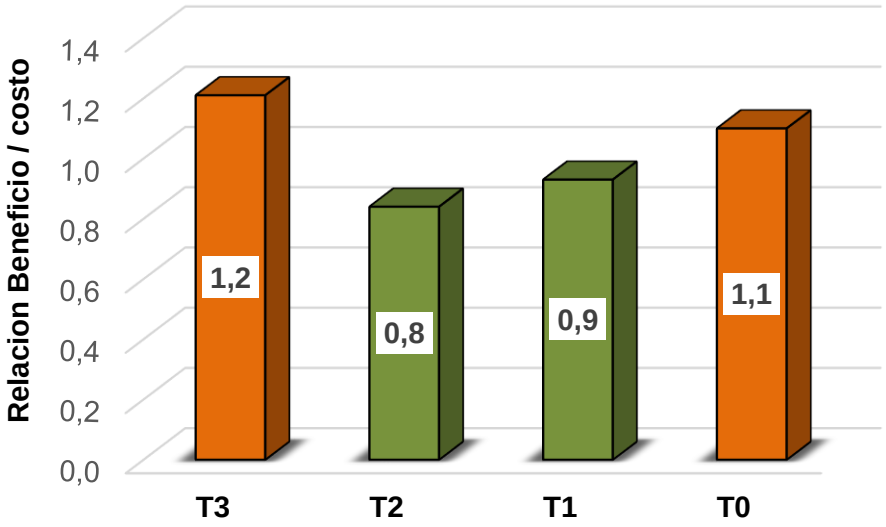
Como se mencionó anteriormente, a una mayor producción de peciolos de ruibarbo, mayor será el ingreso económico por la comercialización de este producto. En consecuencia, desde el punto de vista económico, con el tratamiento T3 se obtuvo el mayor ingreso neto (71,2 Bs/m^2), contrariamente, con el tratamiento testigo T0, el ingreso neto fue el más bajo (9,2 Bs/m^2). La Figura 16, muestra una tendencia creciente en el ingreso neto de los tratamientos a medida que la cantidad de gallinaza aumenta, respecto al tratamiento testigo, que no tuvo el aporte de gallinaza.

4.9.3. Relación beneficio costo

El cálculo de beneficio /costo se realizó efectuando la diferencia entre los ingresos que resultan de la comercialización del producto y los egresos es decir el costo de los insumos que se requiere para lograr dicha producción, conformados por los costos variables (Tabla 22). Si el beneficio/costo es mayor a 1 entonces el proyecto es rentable.

Figura 22.

Gráfico comparativo de la Relación Beneficio Costo calculado para los tratamientos en estudio



Nota: Elaboración propia, 2024

El análisis de Beneficio Costo presentados en la Tabla 22 y Figura 22, muestran que los tratamientos T3 y T0 son los más rentables, puesto que presentan un B/C de Bs 1.2 y Bs 1.1, respectivamente. Los tratamientos T1 y T2, no rentables debido a que tiene un B/C inferior a uno.

El tratamiento T3, en el que se usó una dosis de 50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón activado, registró la máxima rentabilidad de Bs 1.2, por cada boliviano invertido. Similarmente, el tratamiento T0, sin ninguna dosis de gallinaza, registró una rentabilidad de 1.1, sin embargo, la producción de peciolos de ruibarbo es bajo en comparación con los tratamientos T1, T2 y T3.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos a los objetivos planteados, tenemos las siguientes conclusiones:

- Se logró establecer y producir peciolos comerciales de ruibarbo en condiciones de ambiente controlado en la localidad de Achocalla. Las temperaturas máximas y mínimas al interior del invernadero, favorecieron el establecimiento y desarrollo óptimo del cultivo que se resultó en una buena producción de peciolos de ruibarbo.

- El análisis de varianza y la prueba de promedios de Duncan mostró que los tratamientos T3 y T2, en las que se usó mayor cantidad de gallinaza (5 kg/m^2 y 4 kg/m^2) y carbón activado (2 kg/m^2), influyeron positivamente para la obtención de mayores porcentajes de prendimiento promedio (97 a 100%) y mayor altura de planta promedio (48,06 cm y 39,56 cm), que puede atribuirse al estado fisiológico de las plantas madres y al efecto conjunto de gallinaza y carbón activado existente en el suelo.

- Con el tratamiento de 40 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón (T2), se obtuvo mayor cantidad de hojas por planta (9 hojas), 3 hojas más que el tratamiento testigo (T0) que no tuvo gallinaza.

- Los tratamientos T2, T3 y T1, en los que se incluyó gallinaza, presentaron peciolos de similar diámetro con valores comprendidos entre 1,09 y 1,23 cm.

- Con la dosis de 50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón activado (tratamiento T3) se obtuvo el mayor rendimiento de materia verde en promedio (5,10 kg/m^2), seguido de los tratamientos T2 y T1, que registraron similar rendimiento de materia verde, de 3,13 y 3,03 kg/ha, respectivamente. Asimismo, la diferencia en rendimiento del tratamiento T3 y el tratamiento testigo T0, es de 3,81 kg/m^2, valor importante para la producción de ruibarbo.

- De acuerdo a los resultados podemos indicar que a mayores dosis de aplicación de gallinaza/biocarbón activado, mayor es el efecto fisiológico en desarrollo de la planta, que se traduce en un importante incremento de la producción de peciolos de ruibarbo.

- El análisis de Beneficio Costo de la investigación, muestra que los tratamientos T3 y T0 fueron los más rentables, puesto que, presentan una relación B/C de Bs 1.2 y Bs 1.1,

respectivamente. Los tratamientos T1 y T2, no son rentables debido a que tiene una relación B/C inferior a uno.

- El tratamiento T3, en el que se usó una dosis de 50 t/ha de gallinaza y 20 t/ha de biocarbón activado, registró la máxima rentabilidad de Bs 1.2, por cada boliviano invertido. Similarmente, el tratamiento T0, sin ninguna dosis de gallinaza, registró una rentabilidad de 1.1, sin embargo, la producción de peciolos de ruibarbo del tratamiento testigo es bajo, en comparación con los tratamientos T1, T2 y T3.

6. RECOMENDACIONES

En base a los objetivos, resultados y conclusiones del presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Continuar con el estudio por dos años consecutivos debido a la naturaleza perenne del ruibarbo, es posible que los efectos de la aplicación conjunta de biocarbón y gallinaza sean diferentes con mayor tiempo de tratamiento y evaluación.

- Realizar estudios complementarios con otros niveles de gallinaza y biocarbón activado que corroboren lo encontrado en el presente estudio.

- Promover la producción y consumo de peciolos de ruibarbo en áreas urbanas y rurales del departamento de La Paz, debido a que es una especie poco conocida por los pobladores.

- Realizar trabajos de investigación complementarios en postcosecha, especialmente para determinar el valor culinario y medicinal del ruibarbo, que permita dar valor agregado a la especie.

- Realizar estudios de investigación en propagación del ruibarbo a partir de semilla sexual, en condiciones de invernadero y a campo abierto, para determinar la variabilidad genética del cultivo e identificar plantas con nuevas características de uso.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abenza, D. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Tesis Lic. España. Universidad Autónoma de Barcelona 111 p.

Acuña, O. 2003. El uso de biofertilizantes en la agricultura, In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto nsultado la Universidad de Costa Rica. 67-75 p.

Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Bird, M.I., 2016a. Benefits of biochar, compost and biochar compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. Sci. Total Environ. 543, 295–306.

Arbaz, N. 2011. El biocarbón como material orgánico para la mejora del suelo. Disponible en http://www.dc.delinatinstitut.org/doc/espagnol/biocarbon-como-material-para.pdf consultado 19 de agosto.2021

Balta Crisologo Rafael. 2019. El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo el invernadero. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en suelos. Escuela de Posgrado, Maestría en suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 123 p.

Barrera, T. C. 2012. Cuatro dosis de materia orgánica (gallinaza de postura) en el cultivo de lechiga (Lactuca sativa L.) variedad Grand Rapid Waldeman's Starin bajo condiciones agroclimáticas en la provincia de Lamas. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto. 60 p.

Bradasic, P.;Arancibia, L. y Yagello, J. 2007. Estudio del cultivo de ruibarbo en base a la propagacion de ecotipos y programacion de semillas. FIA. . Chile, 29-31 p.

Bradasic, P. 2005. Estudio del cultivo de ruibarbo en base a la propagación de ecotipos y propagación por semillas. Proyecto financiado por FIA. Ejecutado durante los años 2003 a 2005. Prat rocinante Guillermo Nicolls Fell.

Bratsch, A . 2009. Produced by Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University. Disponible en http://www.ext.vt.edu. consultado enero 2021.

Brick, S. 2010. Biochar: assessing the promisse and risks to guide U.S. Policy. Natural resources fefense council. U.S.A.

http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf. Consultado en octubre del 2015.

Cevallos, C., Salazar, J., Romero, E., Cardenas, N., Avalos, M., 2018. “Utilización del ruibarbo (rheum rhabarbarum) en la aplicación de repostería vanguardista”, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (agosto 2018). En línea: //www.eumed.net/rev/caribe/2018/08/ruibarbo-reposteria-vanguardista.html

CIMMYT 1988. La formulación de recomendaclones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.

Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., & Park, Y. K. 2016. Production and utilization of biochar: A review. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 40, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002

El Diario. 2012. Los beneficios y usos ancestrales del ruibarbo REVISTAS Y SUPLEMENTOS FEMENINA. Periódico El Diario, 10 de mayo de 2012

Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., Etchevers, J. 2016. Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. Terra Latinoamericana, 34, 367–382. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf

Días, J.; Alvim, M.; Almeida, M.; Rivera, J. and Sánchez, M. 2007. Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. Journal of Environmental Management, 85, 833-846.

Hartman, H. 1997. Plant propagation principles and practices, 6th ed. Prentice Hall EVA.

Helsell, D.; Marshall, D.; y Zandstra, B. 1981. Rubarb Michigan University is and affirmative action' equal institution. cooperative extension service programs es are open to all without regard to race, color, national origin. or sex. 2 p.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. 2014. Metodología de la investigación. McGraw-Hill.

Huaman, G.,Cuba, G. 2019. Cultivo de ruibarbo.Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" de Ica, Facultad de agronomia, Peru 17pp.

Huito 2005. Respuestas de la variedad de albahaca a diferentes densidades de plantación en los yungas de La Paz. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. Facultas de Agronomía. La Paz – Bolivia

IBI (International Biochar Initiative). 2012. Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil. www.biochar-international.org. Consultado en setiembre del 2016.

Ioannidou, O. and Zabaniotou, A. 2007. Agricultural residues as precursor for activated carbon production - A review. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 11, 1966-2005.

Jauron, R. 2004. Rhubarb in the Home Garden Issued in furtherance of Cooperative Extension work, Acts of May 8 and June 30, 1914 in cooperation with the U.S. Department of Agriculture. Stanley R. Johnson, director, Cooperative Extension Service, Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa. 2 p.

Krarup, A., Seemann, P. 1990. Investigación de Alternativas Agrícolas para la Xa Región. universidad Austral de Chile y Ministerio de Agricultura. Informe Final del Proyecto 017/85 presentado al Fondo de Investigación Agropecuaria. 222 p.

Lazo, J. 2016. Evaluación de cuatro dosis de materia orgánica (gallinaza) en el cultivo de brócoli (brassica oleracea) híbrido royal favor f-1 hyb,en el Distrito de Lamas. Tesis Lic. Perú. Universidad Nacional de San Martín. 79 p.

Lee, MR. 2017. Rhubarb (Rheum species): the role of Edinburgh in its cultivation and development of edinbuRgh volume 47. 104 p.

Lehmann, J. and Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London & Sterling, VA. 416 pp.

Lozada Jerez, J. A. 2013. Obtención de biogás en base a mezclas de gallinaza con residuos orgánicos de cerdo y cuy. Universidad Técnica de Ambato.

Lucier, G. y Dettman, R. 2009. Vegetables and Melons Outlook. United States Department of Agriculture (USDA). Disponible en http://www.ers. usda.gov consultado 20 de enero 2021

Magdoff, F. R. y J. F. Amadon. 1978. Yields trends and soil chemical changes resulting from N and manure application to continuous. Agr. J. 72(1): 161– 164.

Martínez, C. y Ramírez, L. 2000. Lombricultura y Agricultura Sustentable. Futura Mexico ed. Unica (ed.). 236 p.

Miller, H. 1967. Fisiologia Vegetal Traducida por Francisco de la Torre Mexico-388p .

Molina, M. and Rodríguez, F. 2004. Role of chemical activation in the development of carbon porosity. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 24, 15.

Nicol, G. 2005. Introduccion, desarrollo y recoleccion de variedades de ruibarbo en la zona de Magallanes para desarrollo comercial de rubro exportador. Proyecto gobierno de Chile fundacion para la inovacion agraria. 109 p.

Osuna, M., Osuna, R., y Fierro, A. 2016. Manual de propagacion de plantas superiores. D.R. ©UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, Mexico. 8 p.

Pairumani, R. 2021. Manual del Tesista. Primera Edicion. La Paz, Bolivia.

Pacaya, H. 2021. Dosis de gallinaza y sus efectos sobre las caracteristicas agronomicas y rendimiento de Lactuca sativa. var. Great Lakes "lechuga", Zungarococha-Loreto. Tesis Lic. Peru. escuela de formacion profecional de agronomia. 83 p.

Paco, D. 2012. Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. Tesis de fin de carrera. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.

Palazuelos, B. 1995. Guía de elaboración del compost. La Paz, Bolivia. Gráficas. p 22 – 52.

Pascual, M. 2015. Efecto de tres niveles de abono liquido organico en la produccion del cultivo de nabo (Brassica napus) a campo abierto en en Municipio Achocalla. 107 p.

Pinedo Ramirez Elvis. 2000. Tres fuentes y tres dosis de abonos orgánicos en el rendimiento de soya,variedad cristalina (Glycine max (L) Merril) Caspizapa, Región San Martín". Tarapoto Perú.

Piña, M. 2014. Tesis “influencia de cuatro dosis de gallinaza de postura en el rendimiento de grano seco del frijol trepador (Phaseolusvulgaris) variedad “Huasca Poroto” (El Huallaguino) empleando el sistema de espaldera en el distrito de lamas” Tarapoto – Perú.

Poma Mendoza Rosmery. 2017. Efecto de diferentes sustratos en la producción de ruibarbo (Rheum rhabarbarum L.) en la localidad de Ventilla El Alto. Tesis de pregrado, Facultad de Agronomía Universidad Mayor de San Andrés.

PTDI. 2016. Plan Territorial Desarrollo Integral. Place Published

Raffo, D. 2005. Efecto de las altas temperaturas sobre la calidad de los frutos. revista rompe cabezas.Instuto Nacional de Tecnologia Agropecuaria INTA,(40).

Ramírez A., Luz S.; Díaz B., Hilda E. 2007. Actividad antibacteriana de extractos y fracciones del ruibarbo (Rumex conglomeratus). En: Scientia et Technica, vol. XIII, núm. 33, abril, 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia. pp. 397-400

Ricalde, J. 2002. Guía de reconocimiento de animales perjudiciales en cultivos frutales INTA EEA,. 60 p.

Salinas, M., Cartes, F. 2009. Desarrollo del Cultivo Comercial de Ruibarbo Proyecto de Innovación en la XII Región de Magallanes, Chile. 30 p.

Salinas B Marcela. y Fernando Cartes M. – Cartes y Le-Bert Cía. Ltda. 2009. Santiago Loreley 1582, La Reina, Santiago. Fono (2) 431 30 96

Soto, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. Taller Abonos Orgánicos. CATIE/GTZ/UCR/CANIAN. San José, Costa Rica. 27 p.

Suquilanda, M. 1996. Agricultura Orgánica Alternativa del Futuro. Ediciones UPS FUNDAGRO Quito, Ecuador p 105,194-195,172.

Suhas, V.K. Gupta, P.J.M. Carrott, Randhir Singh, Monika Chaudhary, Sarita Kushwaha. 2016. Cellulose: A review as natural, modified and activated carbon adsorbent

Tecnamed 2010. Gallinaza seca. Tecnificacion Agraria Y Medioambiental, S.l., 1, 1– 2. Retrieved from http://www.agromaquinaria.es/pdf/empresas/Gallinaza_Seca_6111453022072011.pdf

Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. 2016. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, 467–481. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122

Villarreal, R. 1982. Tomates tradicionales. San José, Costa Rica. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). p 184 – 186.

Yagello, J. 2007. Estudio preliminar de la composición química y el valor nutricional de frutos regionales de interés económico y socio cultural de Magallanes. Tesis Lic. Chile. Universidad de Magallanes. 29-31 p.

Yuco, A. 2012. Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulosicos para la adsorción y recuperación de Tolueno y N- Hexane. Tesis Doc. España. Universidad San Jorge. 215 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento testigo T0 de la investigación

DESCRIPCION	INGRESO T0			
Costos variables	UNIDAD	CANTIDAD 30.45 m2	PRECIO UNITARIO	TOTAL Bs/30.45 m2
INSUMOS				
Matas de ruibarbo	plantin	6	2	12
PREPARACION DEL TERRENO				
Removido del suelo	hora	1	8,58	8,58
Abonado y nivelado	hora	0,5	8,58	4,29
Trasplante y riego	hora	0,5	8,58	4,29
LABORES CULTURALES				
Refalle	hora	0,5	8,58	4,29
escarda	hora	1	8,58	8,58
Deshierbe	hora	0,5	8,58	4,29
Control plagas				
caldo sulfocalcico	litro	0,5	15	7,5
aplicación	hora	0,5	8,58	4,29
COSECHA Y EMPAQUETADO				
Selección y clasificación	hora	1	8,58	8,58
Pesado	hora	0,5	8,58	4,29
Transporte	hora	1	8	8
Biocarbón activado				
T0 0 kg/m2 biocarbón activado	kg	0		
Gallinaza				
T0 0 kg/m2 gallinaza	kg	0		
COSTOS VARIABLES				**78,98**
TOTAL DE COSTOS FIJOS				
Compra de herramientas	pieza	1	15	**15**
Costos totales				
costo fijo + T0				**78,98**

Anexo 2. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento T1 de la investigación (3 kg/m² de gallinaza y 2 kg/m² biocarbón activado)

DESCRIPCION	INGRESO T1			
Costos variables	**UNIDAD**	**CANTIDAD 30.45 m2**	**PRECIO UNITARIO**	**TOTAL Bs/30.45 m2**
INSUMOS				
Matas de ruibarbo	plantin	6	2	12
PREPARACION DEL TERRENO				
Removido del suelo	hora	1	8,58	8,58
Abonado y nivelado	hora	0,5	8,58	4,29
Trasplante y riego	hora	0,5	8,58	4,29
LABORES CULTURALES				
Refalle	hora	0,5	8,58	4,29
escarda	hora	1	8,58	8,58
Deshierbe	hora	0,5	8,58	4,29
Control plagas				
caldo sulfocalcico	litro	0,5	15	7,5
aplicación	hora	0,5	8,58	4,29
COSECHA Y EMPAQUETADO				
Selección y clasificación	hora	1	8,58	8,58
Pesado	hora	0,5	8,58	4,29
Transporte	hora	1	8	8
Biocarbón activado				
T1 2 kg/m2 biocarbón activado	kg	11,7	4,5	52,65
Gallinaza				
T1 3 kg/m2 gallinaza	kg	17,55	6,5	114,075
COSTOS VARIABLES				**245,705**
TOTAL DE COSTOS FIJOS				
Compra de herramientas	pieza	1	15	**15**
Costos totales				
costo fijo + T0				
costo fijo + T1				**260,705**

Anexo 3. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento T2 de la investigación (4 kg/m² de gallinaza y 2 kg/m² biocarbón activado)

DESCRIPCION		INGRESO T2		
Costos variables	**UNIDAD**	**CANTIDAD 30.45 m2**	**PRECIO UNITARIO**	**TOTAL Bs/30.45 m2**
INSUMOS				
Matas de ruibarbo	plantin	6	2	12
PREPARACION DEL TERRENO				
Removido del suelo	hora	1	8,58	8,58
Abonado y nivelado	hora	0,5	8,58	4,29
Trasplante y riego	hora	0,5	8,58	4,29
LABORES CULTURALES				
Refalle	hora	0,5	8,58	4,29
escarda	hora	1	8,58	8,58
Deshierbe	hora	0,5	8,58	4,29
Control plagas				
caldo sulfocalcico	litro	0,5	15	7,5
aplicación	hora	0,5	8,58	4,29
COSECHA Y EMPAQUETADO				
Selección y clasificación	hora	1	8,58	8,58
Pesado	hora	0,5	8,58	4,29
Transporte	hora	1	8	8
Biocarbón activado				
T2 kg/m2 biocarbón activado	kg	11,7	4,5	52,65
Gallinaza				
T2 4 kg/m2 gallinaza	kg	23,4	6,5	152,1
COSTOS VARIABLES				**283,73**
TOTAL DE COSTOS FIJOS				
Compra de herramientas	pieza	1	15	**15**
Costos totales				
costo fijo + T0				
costo fijo + T1				
costo fijo + T2				**298,73**

Anexo 4. Planilla de registro de costos fijos y costos variables para el tratamiento T3 de la investigación (5 kg/m² de gallinaza y 2 kg/m² biocarbón activado)

DESCRIPCION	INGRESO T3			
Costos variables	**UNIDAD**	**CANTIDAD 30.45 m2**	**PRECIO UNITARIO**	**TOTAL Bs/30.45 m2**
INSUMOS				
Matas de ruibarbo	plantin	6	2	12
PREPARACION DEL TERRENO				
Removido del suelo	hora	1	8,58	8,58
Abonado y nivelado	hora	0,5	8,58	4,29
Trasplante y riego	hora	0,5	8,58	4,29
LABORES CULTURALES				
Refalle	hora	0,5	8,58	4,29
escarda	hora	1	8,58	8,58
Deshierbe	hora	0,5	8,58	4,29
Control plagas				
caldo sulfocalcico	litro	0,5	15	7,5
aplicación	hora	0,5	8,58	4,29
COSECHA Y EMPAQUETADO				
Selección y clasificación	hora	1	8,58	8,58
Pesado	hora	0,5	8,58	4,29
Transporte	hora	1	8	8
Biocarbón activado				
T3 2 kg/m2 biocarbón activado	kg	11,7	4,5	52,65
Gallinaza				
T3 5 kg/m2 gallinaza	kg	29,25	6,5	190,125
COSTOS VARIABLES				**321,755**
TOTAL DE COSTOS FIJOS				
Compra de herramientas	pieza	1	15	**15**
Costos totales				
costo fijo + T0				
costo fijo + T1				
costo fijo + T2				
costo fijo + T3				**336,755**

Anexo 5. Fotografías de diferentes etapas de la investigación

Anexo 6. Fotografías de diferentes etapas de la investigación