

Producción de biomasa de Haba (*Vicia faba L.*) para abono verde bajo tres densidades de plantación en el Centro Experimental Cota Cota.

Production of beans biomass (*Vicia faba L.*) as green fertilizer, under three sowing densities, in Cota Cota Experimental Center.

Jonhy Cesar Oliver Cortez.

RESUMEN:

La relación simbiótica del rhizobium y plantas leguminosas es una fuente potencial para el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico, y las habas (*Vicia faba*) noduladas bajo condiciones apropiadas fijan un promedio de 210 kg Nitrógeno por hectárea en un año. Los fines de la aplicación de abono verde son mantenimiento y mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos. Cultivando especies leguminosas y aplicando las mismas como abono verde, se aporta solamente nitrógeno, ya que los demás elementos fueron extraídos del suelo para su crecimiento. Para suministrar nitrógeno al suelo mediante la fijación biológica, es necesaria la inoculación de la semilla. La inoculación de las semillas es más económica que cualquier fertilización, mantiene o mejora la fertilidad del suelo, aumenta los rendimientos y no contamina el suelo ni el agua. En el Centro Experimental Cota Cota se evaluó el rendimiento de haba (*Vicia faba*) variedad Gigante Copacabana I, en tres densidades de plantación de abril a septiembre del 2015. En los meses de junio, julio y agosto, se registraron las temperaturas mínimas medias más bajas en comparación con cinco años anteriores. Los resultados de análisis físico químico de suelo, establecieron que son de textura arcilloso limoso y no presentan deficiencias de nutrientes. Los tratamientos con mayores números de plantas por hectárea, reportaron mayores rendimientos de biomasa y significativamente diferentes en comparación con la menor densidad. En las unidades experimentales con menor densidad de plantación, pese a que las labores culturales se desarrollaron una semana después del riego, se presentó encostramiento y compactación del suelo por el pisoteo durante las operaciones del deshierbe y el riego dirigido a las hileras de las plantas. Los costos de producción de abono verde de haba (*Vicia faba*) entre los meses de abril y septiembre fueron altos, en comparación con el costo de compra de estiércol o compost.

PALABRAS CLAVE:

Rhizobium, leguminosas, nitrógeno atmosférico, abono verde, inoculación.

ABSTRACT:

The symbiotic relationship of rhizobium and leguminous plants is a potential source for the utilization of atmospheric nitrogen, and beans (*Vicia faba*) nodulated under appropriate conditions set an average of 210 kg Nitrogen per hectare in a year. The purposes of applying green manure are maintenance and improvement of the physical, chemical and biological characteristics of soils. By cultivating leguminous species and applying them later as green manure, only nitrogen is added, since the other elements were extracted from the soil for its growth. In order to supply nitrogen to the soil by biological fixation, inoculation of the seed is necessary. Seed inoculation is more economical than any fertilization, maintains or improves soil fertility, increases yields and does not pollute soil or water. The yield of bean (*Vicia faba* – Copacabana Giant Variety) was evaluated in three sowing densities from April to September 2015, at the Cota Cota Experimental Center. The lowest average minimum temperatures were recorded in june, july and august, compared to the five previous years. The results of physical - chemical analysis of soil, established that they are clay loamy texture and do not present nutrient deficiencies. Treatments with higher number of plants per hectare, reported higher biomass yields and were significantly different compared to the lower density. In the experimental units with less sowing density, although the plowing was performed a week after irrigation, there was compaction of the soil during weeding operations, and irrigation directed to the rows of plants. Bean green manure production costs (*Vicia faba*) between April and September were high, compared to the cost of purchasing manure or compost.

KEYWORDS:

Rhizobium, legumes, atmospheric nitrogen, green manure, inoculation.

AUTOR:

Jonhy Cesar Oliver Cortez. Docente Investigador. Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. jcpoliver@umsa.bo

Recibido: 30/08/16. Aprobado: 12/12/16.

DOI: <https://doi.org/10.53287/zjzk1927pw58c>

1. INTRODUCCIÓN

Los suelos ideales para la agricultura contienen 50 % de parte sólida y 50 % de poros, y la relación óptima de la parte sólida es, 45 % de sustancias minerales (arena, limo y arcilla) y 5 % de materia orgánica (Orsag. 2010). La proporción adecuada de agua (líquida) es 25 a 30 % y de aire (gaseosa), de 20 a 25 %. Sin embargo, con el desarrollo tecnológico relacionado con la selección y creación de variedad altamente productivas, que han multiplicado los rendimientos obtenidos hace varias décadas atrás, las nuevas variedades desarrollan muy bien en suelos con proporciones mucho mayores de materia orgánica.

En condiciones de campo, los residuos de cultivo, el abono verde, la paja, el compost y otros abonos orgánicos contribuyen a reponer la materia orgánica del suelo. Diversos tipos de microorganismos del suelo descomponen todos estos materiales y se convierten en un material amorfo bastante estable, de color pardo negro, conocido como humus, que no se asemeja de modo alguno a los materiales originales (Guanche 2012).

La materia orgánica en el suelo puede encontrarse en diversas formas, o sea, en distintos estados de descomposición, Guerra et al. (1985) indican que se agrupan en:

- Residuos de plantas y animales no descompuestos.
- Humus que surge de los procesos bioquímicos y de la descomposición parcial de los residuos vegetales y animales.

La materia orgánica libera nutrientes, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) del suelo, confiere estabilidad a los agregados y provee constituyentes energéticos y somáticos a los microorganismos.

Guerra et al. (1985), indican que, en condiciones favorables, el humus se somete a mineralización lenta, y sirve de fuente de elementos necesarios para la síntesis de nuevas sustancias orgánicas. Los

factores que interactúan entre sí, son la temperatura, humedad y aire en el suelo, actividad microbiológica y reacción del suelo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico, según Orsag (2010), define la capacidad que tiene el suelo para adsorber o retener nutrientes (cationes o aniones) en forma intercambiable para las plantas.

Según Guerra et. al. (1985), pese a la pequeña proporción de la materia orgánica (5 %) en los suelos, son responsables de casi la mitad del intercambio catiónico.

Flórez (2012), destaca que el complejo de cambio son reservas de nutrientes que son retenidos, evitan la pérdida por arrastre hacia capas más profundas.

La FAO (1986), indica que las propiedades físicas del suelo, como la facilidad para cultivar, la capacidad para retener los nutrientes y la humedad, la aireación, el drenaje y, en alguna medida, la capacidad de laboreo está muy influidas por la textura del suelo. Los suelos arenosos ofrecen buena aireación y drenaje, y suelen ser sueltos y friables por lo que resulta fácil su cultivo. Los suelos que poseen alto contenido de arcilla, que tienen espacios internos, poseen elevada capacidad de absorción y retienen bien los nutrientes y la humedad. Sin embargo, los suelos arcillosos casi siempre tienen poros finos, drenaje y aireación deficientes y las operaciones de laboreo son relativamente difíciles.

Las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) suelen mantenerse agrupadas entre sí en forma de agregados. La agregación de las partículas del suelo siguiendo una modalidad definida se conoce como estructura del suelo.

Los suelos de estructura granular generalmente presentan características satisfactorias de porosidad, capacidad de retención de humedad, aireación y drenaje y se dice que poseen buena capacidad de laboreo. La capacidad de laboreo se mejora mediante operaciones agrícolas oportunas y con el

mantenimiento de un contenido adecuado de materia orgánica en el suelo, o sea mediante la aplicación de abonos orgánicos (FAO 1986). Para pequeñas áreas de cultivo, las operaciones de laboreo del suelo se pueden realizar con herramientas manuales y con maquinaria para extensas áreas de cultivo de 1 a miles de hectáreas.

Guerra et al. (1985), destacan que la mejor estructura del suelo se logra cuando el agente cementante de las partículas son sustancias orgánicas, la agrupación se denomina grumo. Los mismos autores, indican que cuando la materia orgánica comienza a escasear, los microorganismos atacan las sustancias orgánicas, que actúan como cementante del grumo, y los rompen, con nuevos aportes de materia orgánica vuelve a formarse el grumo.

La aplicación de estiércol de animales o compost, por el requerimiento en grandes cantidades (10 a 30 TM/ha), solo es posible conseguir para pequeñas áreas de cultivo, y a medida que aumenta la demanda, aumentará el precio elevando los costos de producción. Por otro lado, continuamente se señala como desventaja, el costo de transporte de grandes cantidades hasta las parcelas de cultivo. En cambio, la producción de abono verde ofrece la posibilidad de cosechar en la misma parcela y con tecnología mecanizada, cultivar en cantidades ilimitadas de terreno.

Carreño, B. y Ditchburn, L. (1998), indican que actualmente se define como abono verde a la utilización de plantas en asociación, rotación o sucesión, con cultivos, incorporados al suelo o dejados sobre la superficie. Los fines son protección superficial, mantenimiento y mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Es importante señalar, que el abono verde de especies leguminosas aporta solamente nitrógeno, ya que los demás elementos fueron extraídos del suelo para su crecimiento. En consecuencia, la deficiencia del suelo

de otros elementos se debe resolver con otras aplicaciones.

En rotación se puede cultivar abono verde en invierno o verano. La rotación de un cultivo comercial como maíz, con abono verde en invierno, es una práctica muy común en el ámbito global.

Carreño, B. y Ditchburn, L. (1998), señalan que las funciones del abono verde son:

- Mantener o mejorar la fertilidad del suelo.
- Proteger al suelo de la lluvia, impidiendo el impacto directo de la misma, y la consecuente degradación del suelo y lixiviación de nutrientes.
- Aumentar la tasa de infiltración de agua.
- Incrementar la capacidad de retención de agua.
- En el caso de leguminosas, aportar nitrógeno mediante la fijación biológica.
- Promover la movilización y reciclaje de nutrientes.
- Reducir la población de malezas mediante la competencia y efectos alelopáticos.
- Reducir oscilaciones térmicas en la superficie del suelo.
- Mejorar la vida biológica en el suelo.

Además, según la especie se puede obtener beneficios adicionales, como:

- Alimento para animales o para el consumo humano.
- Control de nematodos.
- Reducción de la incidencia de plagas y enfermedades.
- Ingresos a través de la venta de semillas.

La importancia de las leguminosas para la fertilidad de los suelos y para su conservación ha sido reconocida desde los comienzos de la agricultura principalmente por su asociación con tipos de bacterias del género Rhizobium que fija nitrógeno atmosférico formando nódulos en las raíces de éstas plantas.

El nitrógeno es factor crítico en la nutrición vegetal. Es abundante en el aire, pero las plantas no pueden tomarlo de allí por encontrarse en forma inerte como dinitrógeno (N_2). Por ello la fijación biológica de nitrógeno, que permite utilizar el nitrógeno del aire, es de enorme importancia para el planeta. El elemento clave del proceso es la nitrogenasa, enzima que solo producen algunos organismos procariotas. La nitrogenasa intermedia la ruptura del triple enlace del dinitrógeno y produce amoníaco (NH_3), compuesto que las plantas pueden aprovechar. La asociación simbiótica con bacterias de los géneros *Rhizobium* o *Bradyrhizobium* le brinda a las leguminosas la posibilidad de utilizar el nitrógeno atmosférico para su nutrición y dejar un remanente en el suelo (Mera 2015).

El haba es una leguminosa introducida del viejo mundo a Bolivia hace más de tres siglos, su importancia está en la disponibilidad de un alimento con alto contenido proteico (25,6 %) y su capacidad nitrificadora de los suelos que hacen un valioso cultivo en el manejo de suelos.

Investigadores en Rhizobiología indican que la relación simbiótica del rhizobium y leguminosas es una fuente potencial para el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico. Hamdi (1985), señala una fijación de 100 a 300 kg de nitrógeno por hectárea por año (cuadro 1). Date (1973) citado por Cruz (1995), indica que las cantidades de nitrógeno fijado por las leguminosas noduladas bajo condiciones apropiadas, alcanzan inclusive los 500 Kg de nitrógeno por hectárea.

Cuadro 1. Cantidades de nitrógeno fijado por leguminosas (kg N/ha/año)

Especie	Media	Variación
<i>Vicia faba</i> (Haba)	210	45 – 553
<i>Lupinus mutabilis</i> (Tarwi)	176	145 – 208
<i>Pisum sativum</i> (arveja)	65	52 – 77

Fuente: Y. A. Hamdi (1985) La fijación del nitrógeno en la explotación de suelos. Boletín de suelos de la FAO. p. 41.

Hamdi (1985), informa que en general todos los rhizobios crecen a temperatura de 0 a 50 °C, en un pH comprendido entre 5,5 y 7,5, y que la fijación biológica del nitrógeno se desarrolla normalmente en suelos fértiles.

Mera (2015) indica que las estimaciones de aporte de nitrógeno de las leguminosas al suelo son sorprendentemente variables. También señala, que hay consenso en que las leguminosas satisfacen la mayoría de su requerimiento de nitrógeno a través de la fijación simbiótica.

Cruz (1995), indica que en estudios desarrollados en el cantón Jankopampa (Provincia Omasuyos), la variedad criolla sembrada a una densidad 70 x 10 cm reportaron la mayor altura con un promedio de 102.68 cm, significativamente superior a la variedad Pairumani 1 que mostró una altura de 70,31 cm.

Para suministrar nitrógeno a las leguminosas mediante la fijación biológica, es necesaria la inoculación de la semilla.

El inoculante N2 producido por el CIAT (Centro de Investigación de Agrícola Tropical) dependiente de la Gobernación de Santa Cruz, contiene alta población de rhizobio, específicas para cada especie de leguminosa. Para las habas recomiendan el uso de 5 g de inoculante sólido por kg de semilla (CIAT s.a.).

El inoculante N2 está compuesto por turba estéril enriquecida, que asegura la sobrevivencia de los rhizobios por un prolongado período.

El CIAT, indica que 250 g de inoculante N2 (envase) sólido se mezcla con 250 ml de agua limpia y se mezcla bien. Esta cantidad de inoculante se vierte sobre 50 kg de semilla y se distribuye uniformemente. Se deja secar a la sombra y se siembra lo más antes posible.

También existe inoculante N2 líquido que tiene menor tiempo de vida útil después de que se rompe el sello de la tapa del envase.

La inoculación es más económica que cualquier fertilización, mantiene o mejora la fertilidad del suelo, aumenta los rendimientos y no contamina el suelo ni el agua.

Para maximizar la provisión de nutrientes, es recomendable cortar el abono verde en plena floración, por ser esta la fase en que las leguminosas han alcanzado su máxima fijación de nutrientes.

Los objetivos de la presente investigación fueron determinar el rendimiento de biomasa de haba (*Vicia faba*) variedad Gigante Copacabana en tres densidades de plantación, para aplicación como abono verde en el Centro Experimental de Cota Cota, y establecer los costos de producción de biomasa e incorporación como abono verde. Las hipótesis fueron

H_0 : La densidad de plantación no afecta al rendimiento de biomasa ($D_1 = D_2 = D_3$).

Cuadro 2. Densidades, tamaños de las unidades experimentales y número de hileras que corresponden a cada tratamiento por unidad experimental.

Densidad y plantas/ha	Distancia m entre hileras y plantas	Tamaño de unidad experimental	Número de hileras por unidad experimental
D1: 71.000	0,70 m x 0,20 m	2,80 m x 4 m	4
D2: 90.500	0,55 m x 0,20 m	2,75 m x 4 m	5
D3: 125.00	0,40 m x 0,20 m	2,40 m x 4 m	6

De cada unidad experimental se evaluaron las hileras centrales, por efecto de borde se descartarán las hileras laterales, en consecuencia se evaluarán 2 hileras en la D1, 3 hileras en la D2 y 4 hileras en la

H_a : La densidad de plantación afecta al rendimiento de biomasa ($D_1 \neq D_2 \neq D_3$).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Entre los meses de abril a septiembre del 2015, se evaluó la producción de biomasa de haba (*Vicia faba*), variedad Gigante Copacabana I en tres densidades de plantación en el Centro Experimental Cota Cota ubicado en la zona Sur de la Ciudad de La Paz.

La ubicación geográfica del Centro Experimental Cota Cota es de 16,32° latitud sud, 68,8° longitud oeste y una altura 3400 m.s.n.m. La mayor precipitación entre el 2010 y 2014, se registró el 2010 con 658 mm, y la menor el año 2011 con 413 mm (SENAMHI. 2015).

La temperatura media oscila entre 11,1 °C. reportado en julio del 2014 y 15,8 °C en noviembre del 2010. La temperatura mínima media por mes más baja se registró en los meses de junio y julio del 2012 con 3,3 °C.

El ensayo fue conducido con un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. La densidad de plantación, tamaño de las parcelas y número de hileras por unidad experimental se muestran en el cuadro 2.

D3. Se evaluaron 2 metros de las hileras centrales de cada unidad experimental. Es decir, se descartarán 1 metro a cada extremo de cada hilera central.

Se eligió el diseño de bloque al azar, debido a que los bloques fueron ubicados en pendientes diferentes de la parcela. Se utilizó semilla certificada variedad Gigante Copacabana I e inoculante de Rhizobium N2 en polvo.

Para la siembra, en terreno preparado con rotovator, se realizó zanjas de 5 cm de profundidad y se colocó las semillas inoculadas en huecos de 5 cm de profundidad ahoyadas con estacas de madera (punzón) en fechas 7, 13 y 14 de abril los bloques I, II y III respectivamente.

Se realizó dos deshierbes con herramientas manuales a los 49 y 77 días de la siembra. El aporte de agua fue mediante riego por superficie cada dos semanas y la evaluación de producción de biomasa se realizó a 154 días de la siembra.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 3, se presentan los registros mensuales de precipitación total en mm, temperatura media y temperatura mínima media en grados centígrados (°C.), de abril a septiembre del 2015, tabulados y reportados por la Estación Achumani del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Cuadro 3. Precipitación, temperatura media y temperatura mínima media por mes registrado en Estación Achumani por SENAMHI de abril a septiembre del 2015.

Meses 2015	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	Total	Media
Precipitación mm	47,4	4,9	0,0	12,0	14,4	25,9	104,6	
Temperatura media °C	12,3	12,0	10,5	9,3	10,8	12,5		11,2
Temperatura mínima med °C	5,4	4,0	1,8	-0,6	1,4	3,5		2,6

Fuente: SENAMHI 2015.

La temperatura mínima media más baja por mes registrada en la Estación Achumani entre los años 2010 y 2014, fue de 3,3 °C.; temperatura que corresponde a los meses de junio y julio del 2012. Los reportes de temperatura mínima media en tres meses durante el desarrollo del cultivo en estudio, fueron menores a las registradas durante los anteriores cinco años. La temperatura mínima media por mes de junio 2015 fue de 1,8 °C., de julio -0,6 y de agosto 1,4 °C.

Las temperaturas mínimas bajas registradas reiteradas veces durante tres de los cinco meses que duró la conducción del estudio, ocasionaba que buena parte de las plantas de haba amanezcan con los tallos doblados pero no se marchitaban, se erguían y recuperaban a medida que la temperatura ambiental aumentaba durante el día.

En el cuadro 4 se presentan los resultados de análisis físico químico de suelo reportado por el Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear y la interpretación para un suelo arcilloso y con riego.

El pH del suelo es ligeramente alcalino y con contenido alto de magnesio, total de bases y Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Son muy altos la saturación básica y el contenido de fósforo. Los demás parámetros son medios y moderados.

El cuadro 5 muestra los rendimientos de biomasa (materia verde) de haba variedad Gigante Copacabana I obtenido a 154 días de la siembra. El peso de la biomasa incluye ramas (hojas y tallos) y raíces. En el mismo se observa que en la época sembrada, de abril a septiembre, y en el tipo de suelo arcilloso limoso, a mayor densidad de plantación se ha obtenido mayor rendimiento.

En el tratamiento D3 con una densidad de plantación de 125.000 plantas por hectárea y un espaciamiento de 0,4 m entre hileras y 0,2 m. entre plantas, se ha obtenido un rendimiento promedio de 56,93 TM/ha., 70 % mayor que el tratamiento D1.

Cuadro 4. Resultados e interpretación de análisis físico químico de suelo.

	PARÁMETRO	Unidad	Resultado	Observación
TEXTURA	Arena	%	9	
	Arcilla	%	42	
	Limo	%	49	
	Clase textural	-	YL	Arcilloso limoso
	Grava	%	14,1	
CATIONES DE INTERCAMBIO	Carbonatos libres	-	P	Normal
	pH en agua 1:5	-	7,65	Ligeramente alcalino
	pH en KCl, 1 N, 1:5	-	7,47	
	Conductividad eléctrica en agua 1:5	dS/m	0,189	Insignificantes
	Acidez de cambio (Al + H)	meq/100 g	0,022	
	Calcio	meq/100 g	9,84	Moderado
	Magnesio	meq/100 g	4,14	Alto
	Sodio	meq/100 g	0,54	Moderado
	Potasio	meq/100 g	0,64	Moderado
	Total de bases	meq/100 g	16,16	Alto
	C.I.C.	meq/100 g	15,18	Alto
	SATURACIÓN BÁSICA	%	99,86	Muy alto
	Materia Orgánica	%	2,18	Medio
	Nitrógeno total	%	0,11	Medio
	Fósforo asimilable	Ppm	83,64	Muy alto

Fuente: Reporte de análisis físico químico de suelo, parcela CECC riegos 1 de IBTEN

El cuadro 6 presenta los resultados del análisis de varianza del rendimiento de biomasa de haba para abono verde, en el mismo se establece que existen diferencias significativas entre tratamientos. En la

prueba de Duncan, se identifica que la diferencia significativa es de la Densidad D1 con respecto a los tratamientos con mayor rendimiento, densidades D2 y D3.

Cuadro 5. Rendimiento (TM/ha.) de biomasa (materia verde) de haba (*Vicia faba*) variedad Gigante Copacabana I en tres densidades de plantación.

Tratamiento	plantas/ha	Bloque 1	Bloque II	Bloque III	Suma	Promedio	%
D1	71000	35,15	34,61	30,71	100,47	33,49	100,00%
D2	90500	57,62	42,54	42,23	142,39	47,46	141,72%
D3	125000	69,84	52,03	48,91	170,78	56,93	169,98%
Suma	162,61	129,18	121,85	413,64	137,88		
Promedio	54,20	43,06	40,62	137,88	45,96	137,23%	
%	100,00%	79,44%	74,93%				

Cuadro 6. Análisis de varianza del rendimiento de biomasa (materia verde) de haba (*Vicia faba*) de variedad Gigante Copacabana I.

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft ($\alpha=0,05$)
Bloque	2	314,74	157,37063	5,895109	6,95 NS
Tratamientos	2	834,09	417,04303	15,62245	6,95*
EE	4	106,78	26,695117		
Total	8	1255,61			

* significativo. NS: no significativo.

El rendimiento de biomasa en materia seca se ha obtenido secando muestras de plantas completas (ramas y raíces) por tres días a 65 °C en mufla. La

materia seca de biomasa representó el 13 % (0,13) del peso fresco (materia verde), el rendimiento en materia seca ponderado se presenta en el cuadro 7.

Cuadro 7. Rendimiento de biomasa (materia seca) de haba (*Vicia Faba*) variedad Gigante Copacabana I.

Tratamiento	plantas/ha	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Suma	Promedio	%
D1	71000	4,57	4,50	3,99	13,06	4,35	100,00%
D2	90500	7,49	5,53	5,49	18,51	6,17	141,72%
D3	125000	9,08	6,76	6,36	22,20	7,40	169,98%
Suma	21,14	16,79	15,84	53,77	17,92		
Promedio	7,05	5,60	5,28	17,92	5,97	137,23%	

Los resúmenes de los resultados de los diferentes parámetros evaluados, se muestra en el cuadro 8, en el mismo comparando el promedio con los máximos de cada tratamiento, se observan variaciones importantes.

La mayor variación en peso y número de ramas por planta del máximo con respecto al promedio fue en el tratamiento D1 de 71.000 plantas por hectárea. De 0,47 a 1,32 a kg/planta y 5,8 a 13,3 ramas por planta. En la altura de plantas, dato que se ha obtenido promediando la altura de las ramas de cada planta, la mayor diferencia correspondió a la densidad D2 de

90.500 plantas por hectárea, con variación de 88,15 a 114,0 cm de altura promedio de las ramas de la planta con mayor altura.

Los resultados más altos en las variables kg de biomasa por planta, número de ramas por planta y altura de crecimiento en cm, nos indican el potencial de la variedad Gigante Copacabana I en cada una de las densidades, el cual podría obtenerse en mejores condiciones de suelo, agua y temperatura.

Cuadro 8. Producción de biomasa promedio y máxima en Kg/planta, promedio y máximo N° de ramas por planta, promedio y máxima altura de plantas.

Tratamiento: plantas/ha	Promedio kg/ planta	Máximo kg/planta	Promedio N° ramas /planta	Máximo N° ramas / planta	Promedio altura cm planta	Máxima altura cm planta
D1: 71,000	0,47	1,32	5,84	13,3	78,09	99,7
D2: 90.500	0,53	1,00	4,80	9,0	95,57	124,3
D3: 125.000	0,52	1,17	5,54	10,3	88,15	114,0
Promedio	0,51	1,16	5,40	10,9	87,27	112,7

La mayor dificultad para el normal desarrollo de las plantas que se presentó por la clase textural del suelo, fue el encostramiento y compactación especialmente en las unidades experimentales tratamiento D1 (71.000 plantas por hectárea) con espaciamiento de 0,7 m x 0,2 m. La compactación fue resultado del pisoteo durante las operaciones de deshierbe, pese a que estas actividades se realizaron una semana después del riego.

Otro factor que contribuyó al encostramiento, fue que el agua durante los riegos, se dirigía solamente a las hileras de las plantas, por tanto, un área mayor de las densidades más bajas, se quedaron permanentemente secas.

Baver y otros (1973), indican que la compactación destruye los poros más grandes y los llena parcialmente con partículas sólidas. Besnier (s.a.), señala que el espacio ocupado por el agua y el aire se reduce al mínimo, y la masa apelmazada, a medida que se seca, se produce la cementación y opone gran resistencia mecánica a la penetración y es impermeable al paso del agua. También indica que el problema de la costra es mayor en suelos limosos.

La presencia de una capa de suelo compactada o endurecida obstaculiza grandemente la penetración de las raíces en las capas inferiores de los suelos. El crecimiento de las raíces se retrasa debido a la deficiente aireación y escasez de agua (FAO 1986).

El suministro de oxígeno del suelo resulta esencial para la absorción activa con gasto de energía. La falta

de oxígeno del suelo entorpece la producción de energía por las raíces y por consiguiente limita la absorción de nutrientes y el crecimiento de la planta (FAO 1986).

Por las observaciones anotadas, se concluye que para reducir el encostramiento y apelmazamiento, en cultivos en suelos arcilloso limosos, se debe reducir al mínimo la presencia de personas durante las operaciones de aporque, riego y controles de malezas y plagas.

En todas las plantas evaluadas en el presente trabajo, se observaron abundante nodulación en las raíces, por tanto, a tiempo de producir biomasa para abono verde y terrenos de textura arcilloso limoso, con el cultivo de haba con semilla inoculada se produce fijación de nitrógeno atmosférico por acción de rhizobios, y es efectivo el uso de inoculante N2 en polvo del CIAT y la metodología recomendada.

Este resultado, coincide con los obtenidos en dos cultivos anteriores de haba para abono verde en el Centro Experimental Cota Cota que produjeron abundante nodulación. En esos cultivos sembradas el 10 de mayo del 2014 y el 30 de enero del 2015, se usaron semillas de haba compradas del Mercado Uruguay en la ciudad de La Paz y del Municipio de Culpina respectivamente, y para la siembra fueron inoculadas con N2 en polvo. Las habas sembradas el mes de mayo crecieron con riego por manquera, y las sembradas en enero crecieron con agua de las lluvias. En cambio, en todos los casos revisados de siembras

de haba sin inoculante, en el Centro Experimental Cota Cota se constató que carecían de nódulos.

Se observó la presencia de la enfermedad mancha de chocolate (*Botritis fabae*) que en muy pocos casos avanzó hasta causar la muerte de la planta. No se realizó control de esta enfermedad y no se observó la presencia de plagas ni de otras enfermedades.

En el cuadro 9, se presenta el detalle de los costos de producción de haba para abono verde de los diferentes tratamientos estudiados, los mismos varían de 10.350 a 14.028 bolivianos por hectárea. Como consecuencia de los mayores gastos en siembra, riego, corte y compra de semilla e inoculante, las mayores densidades demandan mayor inversión por hectárea cultivada.

Cuadro 9. Costos de producción en bolivianos por hectárea de haba (*Vicia faba*) para abono verde y costo de producción Bs/TM de abono verde.

Descripción	Cantidad	Unidad	D1	D2	D3
Labranza primaria mecanizado	1	Ha	450	450	450
Labranza secundaria mecanizado	1	Ha	450	450	450
Siembra semimecanizado	1	Ha	1000	1270	1500
Deshierbe manual	2	Repeticiones	2000	1800	1600
Riego superficial	12	Repeticiones	2400	3000	3600
Corte de abono verde	1	Ha	2000	2500	3000
Semilla		Bs	1470	1870	2591
Inoculante en polvo		Bs	85	108	150
Subtotal		Bs.	9855	11448	13341
Otros 5 %		Bs.	495	582	687
Total		Bs/ha	10350	12030	14028
Rendimiento abono verde		TM/ha	33,5	47,5	56,9
Costo unitario de abono verde		Bs/TM	309	253	247
Rendimiento materia seca		TM/ha	4,35	6,17	7,4
Costo biomasa de haba en materia seca		Bs/TM	2379	1950	1896

En cambio, en el costo unitario por TM de abono verde producido, disminuye de 309 Bs/TM de abono verde en el tratamiento con menor densidad a 247 Bs/TM en el tratamiento con mayor densidad de plantación. Estos costos unitarios por tonelada métrica de abono verde, son más elevados que un metro cúbico de estiércol con humedad de alrededor del 25 %. El abono verde mejora la composición física del suelo y por la acción de los rhizobios incorpora nitrógeno, en cambio el estiércol y otros abonos orgánicos trasladados de otro lugar,

incorporarán otros nutrientes adicionales como el potasio y fósforo, pero nitrógeno en menor cantidad.

Las temperaturas mínimas muy bajas registradas en los meses de junio, julio y agosto, limitaron el desarrollo de las plantas, en consecuencia, por la mayor inversión en riego, elevaron el costo de producción por TM de biomasa para abono verde.

Los costos de la materia seca son más elevados, en comparación con los precios que rigen para la compra de compost y estiércol de rumiante u otros.

4. CONCLUSIONES

Las temperaturas mínimas registradas en el mes de julio del 2015, reiteradas veces fueron por debajo de cero grados centígrados (0 °C.), y las registradas los meses de junio y agosto también fueron bajas, más frías que todos los meses registrados entre los años 2010 a 2014.

Las bajas temperaturas afectaron el desarrollo normal de las plantas, en días con temperaturas mínimas bajas, buena parte de las plantas amanecían con las ramas dobladas, los cuales en el transcurso de la mañana recuperaban su verticalidad.

Los resultados del análisis físico químico del suelo, indican que su textura es arcilloso limoso y no presentaban deficiencias de nutrientes.

En el rendimiento de biomasa en TM/ha, las densidades D2 y D3, mostraron diferencias significativamente mayores a la densidad D1. Sin embargo, los resultados fueron interferidos por el encostramiento y apelmazamiento del suelo en parcelas con menor densidad (D1). En suelos arcilloso limosos, se debe reducir la presencia de personas en las parcelas cultivadas.

El suministro de oxígeno del suelo resulta esencial para la absorción activa con gasto de energía. La falta de oxígeno del suelo entorpece la producción de energía por las raíces y por consiguiente limita la absorción de nutrientes y el crecimiento de la planta.

Los costos de producción de abono verde entre los meses de abril a septiembre fueron altos, con la misma inversión se puede comprar un mayor volumen de compost o estiércol.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

Baver, L., Gardner W y Gardner W. 1973. Física de suelos. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México. 529 p.

Besnier, F. s.a. La costra del suelo – hojas divulgativas. Ministerio de Agricultura, Madrid - España. 28 p.

Caballero, A y otros. 2014. Nitrógeno mineral y actividad microbiana en suelos del Altiplano Central Boliviano. RIIARn. Agronomía – UMSA. v. 2. n. 65 – 72.

Caceres, J. 1999. Población de rhizobios locales y respuestas de haba y arveja a la inoculación en la zona Andina de Bolivia. Tesis. Universidad Mayor de San Simón. 61 p.

Carreño, b. y Ditchburn, L. 1998. Abonos verdes para el oriente Boliviano. Principios y bases para su selección. Centro de Investigación agrícola Tropical. Santa cruz - Bolivia. 167 p.

COORPORACIÓN EDUCATIVA PARA EL DESARROLLO COSTARRICENCE (CEDECO). 2005. Cultivo de cobertura y abonos verdes. Serie Agricultura orgánica No. 8. San José Costa Rica. P 34.

CIAT. s.a. N2. Inoculante para leguminosas. Santa Cruz – Bolivia.

Cruz, G. 1995. Efecto de fertilización química y densidades de siembra sobre la nodulación de dos variedades de haba (*Vicia Faba L.*). Facultad de Agronomía – UMSA. La Paz – Bolivia. 80 p.

Di Rienzo, J. et all. 2008. Estadística para las ciencias agropecuarias. Editorial triunfar. Séptima Edición. Córdova – Argentina. 322 p.

FAO. 1985. Manual técnico de la fijación simbiótica del nitrógeno (Leguminosa/rhizobium).

FAO. 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Roma – Italia. 177 p.

Flores, J. 2012. Agricultura ecológica. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid – España. 395 p.

Guanche, A. 2012. Los abonos verdes. Tenerife – España. 8 p. Disponible en www.agrocabildo.com consulta 24 agosto 2015.

Guerra, F. et al. 1985 Edafología General. Editorial Pueblo y Educación. Primera reimpresión. La Habana – Cuba. 214 p.

Hamdi Y. A. 1985. Fijación del nitrógeno en la explotación de suelos. Boletín de suelos de la FAO. 188 p.

López, A. 2009. Producción de haba. CIPCA. La Paz – Bolivia. 53 p.

Mera, M. 2015. Rotación con leguminosas de grano, efecto sobre la productividad de los cultivos y la calidad de los suelos (CD_ROM). En Simposio Internacional de leguminosas. 22 a 24 de septiembre 2016. Cochabamba - Bolivia. p. 18.

Orsag, V. 2010. El recurso suelo, principios para su manejo y conservación. La Paz Bolivia. 474. p.

SENAMHI. 2015. Estación Achumani. Datos meteorológicos. Precipitación, temperatura media y temperatura mínima media.