

Efecto del abono verde y fertilización química en tres variedades de Caña de Azúcar en suelos franco arenosos del municipio Fernández Alonso, Santa Cruz, Bolivia

Effect of green manure and chemical fertilization on three varieties of sugarcane in sandy loam soils of the Municipality Fernández Alonso, Bolivia

Esteban Choque Conde¹, Hans Franklin Mercado Ríos², Alberto Gutierrez Gutierrez³, Jhonny Ojeda Choque⁴

¹Investigador del Centro Nacional de la Caña de Azúcar - CENACA, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF, Santa Cruz, Bolivia, E-mail: condesteban@hotmail.com.

²Director del Centro Nacional de la Caña de Azúcar - CENACA, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF, Santa Cruz, Bolivia.

³Ex investigador del Centro Nacional de la Caña de Azúcar - CENACA, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF, Santa Cruz, Bolivia.

⁴Técnico del Centro Nacional de la Caña de Azúcar - CENACA, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal - INIAF, Santa Cruz, Bolivia.

Resumen

La investigación fue realizada en los predios del Centro Nacional de la Caña de Azúcar (CENACA), localizado en el municipio Fernández Alonso, departamento Santa Cruz, país Bolivia, conducidos bajo el diseño estadístico de parcelas sub divididas de tres niveles (abonos verdes, variedades de caña de azúcar y, parcelas con y sin fertilización), en el marco del objetivo de Determinar la respuesta de tres variedades de caña de azúcar -RBB 77-26, UCG 90-20 y UCG 96-10- sobre rastrojos de abonos verdes (crotalaria, sorgo y barbecho). Como variables de respuesta se evaluaron la número de tallos (NT), altura de tallo molible (ATM), diámetro de tallo (DT) y peso de tallo molible (PTM), colateralmente, el porcentaje de sacarosa (PS) y Rendimiento (Y). Los resultados estadísticos indican una diferencia significativa entre tratamientos, mediante una comparación de medias, según la prueba DMS (diferencia mínima significativa) al 5% de probabilidad. Según los resultados, el rastrojo de crotalaria tuvo mayor efecto en cuanto al NT, ATM y PTM en relación al rastrojo de sorgo.

Los óptimos resultados se dieron sobre los rastrojo de crotalaria tanto en el rendimiento y niveles de caña de azúcar, destacando la variedad UCG 96-10, seguido de la variedad UCG 90-20 y RBB 77-26 respectivamente, además, de existir respuesta a la fertilización con N, P y K.

Palabras clave: RBB 77-26, UCG 90-20, UCG 96-10, Crotalaria, Sorgo.

Abstract

The research was conducted on the property of the National Sugar Cane Center (CENACA), located in the municipality of Fernández Alonso, Santa Cruz department, Bolivia, conducted under the statistical design of sub-divided plots of three levels (green manures, varieties of sugarcane and, with and without fertilization plots), within the framework of the objective of Determining the response of three varieties of sugarcane -RBB 77-26, UCG 90-20 and UCG 96-10- on green manure stubble (crotalaria, sorghum and fallow). Response variables evaluated the number of stems (NT),

height stem (ATM), stem diameter (DT) and weight stem (PTM), collaterally, the percentage of sucrose (PS) and Yield (Y). The statistical results indicate a significant difference between treatments, by means of a comparison of means, according to the DMS test (minimum significant difference) at 5% probability. According to the results, the crotalaria stubble had a greater effect on the NT, ATM and PTM in relation to the sorghum stubble. The best results were given on the crotalaria stubble in both the yield and sugarcane levels, highlighting the UCG 96-10 variety, followed by the UCG 90-20 and RBB 77-26 varieties respectively, in addition, if there is a response to fertilization with N, P and K.

Keywords: RBB 77-26, UCG 90-20, UCG 96-10, Crotalaria, Sorghum.

1. Introducción

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum L.*) es un cultivo altamente extractor de nutrientes del suelo y requiere considerables dosis de fertilización de macro y micronutrientes para suplir sus necesidades, según Wood (1990) este cultivo es capaz de agotar rápidamente el suelo de nutrientes, particularmente del nitrógeno y potasio, debido a su elevada capacidad de producción de biomasa, que en peso fresco alcanza un valor cercano o superior a 100 t ha⁻¹ (que significa entre 20 y 35 t ha⁻¹ de materia seca), lo cual, asociado a la prolongada duración de su ciclo, implica una extracción de nutrientes del suelo de entre 800 a 1.500 kg ha⁻¹ año⁻¹ (Velasco-Velasco, 2014), los nutrientes que más extrae son potasio y silicio, luego en orden decreciente, nitrógeno, fósforo y los restantes macro y micronutrientes (N = 130 a 200, P = 80 a 100, K = 300 a 350, todos en unidades de kg ha⁻¹ año⁻¹).

Sin embargo, las aplicaciones sucesivas de abono

verde ayudan a aumentar los contenidos de carbono total, nitrógeno total y potasio intercambiables, y disminuyen su densidad aparente. Las plantas utilizadas como abonos verdes, generalmente pertenecen a la familia de las leguminosas, por la posibilidad que tienen estas, de fijar nitrógeno atmosférico en asociación con bacterias del género *Rhizobium*, aunque en los últimos tiempos se cultivan otras especies de crecimiento rápido y de buena producción de masa verde, como es el caso de algunas gramíneas, crucíferas o compuestas. Según Araujo & Almeida (1993) las leguminosas generalmente se han utilizado como abono verde debido a su rusticidad, a la elevada producción de materia seca, al sistema radicular profundo y a la simbiosis con bacterias fijadoras del N₂ atmosférico.

La utilización de la fertilización verde con leguminosas en la caña de azúcar se recomienda cuando se reforma el cañaveral. Esta práctica no interfiere en la brotación de la caña. Su costo es relativamente bajo y promueve aumentos significativos en las producciones de caña y de azúcar en por lo menos dos cortes. Adicionalmente, protege el suelo contra la erosión y evita la multiplicación de plantas espontáneas (Ambrosano et al., 2005).

El Centro Nacional de la Caña de Azúcar (CENACA) del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF), opera acciones en la región Norte del departamento de Santa Cruz, colateralmente, en Bermejo y San Buenaventura, Bolivia, encarando acciones en el rubro cañero, como la recuperación de suelos agrícolas, orientado a la producción de caña de azúcar, por cuanto, la presente investigación consiste, en la previa aplicación de abonos verdes, mediante la siembra de cultivos alternativos de *Crotalaria juncea L.* y *Sorghum bicolor L.* Moench, y un área de barbecho como unidad de control o testigo, ya la campaña agrícola 2017 – 2018, se estableció la siembra de tres variedades de caña (RBB 77-26, UCG 96-10

y UCG 90-20) sobre los rastrojos, conducidos en el marco del objetivo de Determinar la respuesta de tres variedades de caña de azúcar (RBB 77-26, UCG 90-20 y UCG 96-10) sobre rastrojos de abonos verdes -crotalaria, sorgo y barbecho-, y parcelas con y sin fertilización.

2. Materiales y métodos

2.1. Ubicación

Los ensayos se establecieron en predios del CENACA (Centro Nacional de la Caña de Azúcar), situado en el municipio Fernández Alonso, cuarta sección de la provincia Obispo Santisteban, del departamento de Santa Cruz, país Bolivia, localizado entre las coordenadas geográficas de 16°59'30.76"S, 63°13'58.91"O y a 234 m de altitud. Las condiciones climáticas de la zona según Köppen (1936) pertenece al tipo Aw - tropical de sábana con invierno seco (Montes de Oca, 1997).

2.2. Material Biológico

Durante el periodo agrícola 2016 – 2017, específicamente, primavera y verano, se incorporaron ensayos con cultivo de abonos verdes, utilizando como material biológico la *Crotalaria juncea* L. y *Sorghum bicolor* L. Moench, la primera perteneciente a la familia de las leguminosas (fabaceas), y la segunda a la familia de las gramíneas (poaceas), complementariamente, también se disponibilizó un área como unidad de

control o testigo, siendo esta el barbecho.

Ya el periodo agrícola 2017-2018, y en forma definitiva, se establecieron parcelas experimentales en caña hoja, sobre las ya indicadas en la sección anterior, disponibilizando como material biológico, tres variedades comerciales de caña de azúcar más cultivadas en la región Norte del departamento de Santa Cruz (RBB 77-26, UCG 96-10 y UCG 90-20)¹, cuyas semillas incorporadas fueron de categoría básica y previamente termotratada.

2.3. Diseño Experimental

El experimento, fue conducido bajo el diseño estadístico de parcelas sub divididas de tres niveles (Tabla 1), utilizando como de primer nivel o parcela principal, los abonos verdes (crotalaria, sorgo y barbecho), de segundo nivel o sub parcela, tres variedades de caña de azúcar (RBB 77-26, UCG 96-10 y UCG 90-20) y, de tercer nivel, la fertilización (con o sin fertilización), sumando un total de 18 tratamientos y cada tratamiento con cuatro repeticiones, es decir, un total de 72 unidades experimentales. Cada unidad experimental se estableció en un área de 90 m² (cinco surcos de 1,5 m de ancho (7,5 m) y 12 m de largo).

1. La catalogación de variedades de caña de azúcar (RBB 77-26, UCG 96-10 y UCG 90-20) está conforme al país de origen, identificado por un código del lugar, el año de liberación u obtención, y seguido del número de individuos seleccionados, por cuanto, la variedad RBB 77-26 es origen de la República del Brasil y Bolivia, liberado el año 1977 con 26 individuos, entretanto, las variedades UCG de origen boliviano, de la Unión de Cañeros Guabirá, la primera liberada el año 1996 con 26 individuos y la segunda el año 1990 con 20 individuos.

Tabla 1. Detalle de los tratamientos del ensayo experimental

Nº	Abono Verde (Primer nivel)	Variedad (segundo nivel)	Con y Sin fertilización (tercer nivel)
1	Crotalaria	RBB 77-26	Con Fertilización
2	Crotalaria	RBB 77-26	Sin Fertilización
3	Crotalaria	UCG 90-20	Con Fertilización
4	Crotalaria	UCG 90-20	Sin Fertilización
5	Crotalaria	UCG 96-10	Con Fertilización
6	Crotalaria	UCG 96-10	Sin Fertilización
7	Sorgo	RBB 77-26	Con Fertilización
8	Sorgo	RBB 77-26	Sin Fertilización
9	Sorgo	UCG 90-20	Con Fertilización
10	Sorgo	UCG 90-20	Sin Fertilización
11	Sorgo	UCG 96-10	Con Fertilización
12	Sorgo	UCG 96-10	Sin Fertilización
13	Barbecho	RBB 77-26	Con Fertilización
14	Barbecho	RBB 77-26	Sin Fertilización
15	Barbecho	UCG 90-20	Con Fertilización
16	Barbecho	UCG 90-20	Sin Fertilización
17	Barbecho	UCG 96-10	Con Fertilización
18	Barbecho	UCG 96-10	Sin Fertilización

El principio fundamental del diseño experimental, es que, las parcelas o unidades experimentales, son aplicadas a niveles de uno o más factores adicionales, cuando se espera que ocurran mayores diferencias entre los niveles de un factor de los que entre los niveles de otro factor (Mischan y Pinho, 1996).

2.4. Variables de respuesta

Se considera como variables de respuesta, aquellas de interés agronómico, como: número de tallos (NT), altura de tallo molible (ATM), diámetro de tallo (DT) y peso de tallo molible (PTM), consideradas como componentes de rendimiento, que son rasgos

afectados por los cambios ambientales, además, también son hereditarios (Skinner, 1967). Además, Da Silva y Da Costa (2004) indican que, estos parámetros son muy importantes para determinar el rendimiento y el porcentaje de sacarosa en condiciones de fertilidad, pero la respuesta puede variar para diferentes variedades.

La evaluación de las variables indicadas, fueron realizadas a partir de los 11 meses después de la siembra, cuyas técnicas aplicadas para el efecto fueron específicas, como la ATM y DT se muestrearon al azar de 10 tallos de cada unidad experimental; la ATM, se midió desde la base hasta la tercera lígula visible, el DT se evaluó aproximadamente a 1,5 m de altura del suelo. Entretanto, las variables de NT y PTM, se contabilizaron y pesaron caña de un área

de 6 m² (dos surcos de 2 m de largo y cada surco de 1,5 m de ancho), en todos los casos considerando los efectos de bordura. Finalmente, el porcentaje de sacarosa (PS), fue determinada en el laboratorio de análisis de sacarosa, para el efecto, se muestrearon tres tallos al azar por unidad experimental.

2.6. Calidad de suelo

La calidad de suelos de la parcela experimental,

es constatada con el resultado de análisis físico y químico de suelos (Tabla 2), donde se exhiben cuatro resultados, que obedecen a muestreos de suelos en diferentes periodos de tiempo, la primera, como fecha inicial, que fue antes de la siembra de abonos verdes y, las restantes tres, ya habiendo terminado la incorporación de los abonos verdes, la profundidad de muestreo fue a 20 cm de capa arable.

Tabla 2. Resultados del análisis físico-químico de suelos de las parcelas experimentales en predios del CENACA, Municipio Fernández Alonso

Parámetros	Unidad	Resultados de análisis físico-químico de suelo			
		Inicial	Crotalaria	Sorgo	Barbecho
		14,25% Y	8,0% Y	8,00% Y	8,00% Y
Textura	%	4,65% L	12,47% L	12,15% L	8,60% L
		81,09% A	79,52% A	79,85% A	83,40% A
Materia orgánica	%	1,01	1,35	1,45	1,15
pH	pH	6,80	6,38	6,64	7,99
C. E. a 1:5	umho cm ⁻¹	25,40	21,85	26,10	105,55
Nitrógeno Total	g kg ⁻¹	0,90	0,72	0,76	0,70
Nitrógeno disponible	mg kg ⁻¹	20,36	18,12	19,22	16,97
Fosforo Olsen (P)	mg kg ⁻¹	5,26	3,24	3,27	3,68
Potasio intercambiable (K)	cmol kg ⁻¹	0,10	0,09	0,08	0,08
Calcio (Ca)	cmol kg ⁻¹	6,04	4,02	4,85	8,71
Magnesio (Mg)	cmol kg ⁻¹	0,19	0,27	0,22	0,28
Azufre (S)	mg kg ⁻¹	0,70	0,56	0,02	0,01

Fuente: Fundación CETABOL (2017).

Los resultados del análisis físico-químico de la Tabla 2, muestran mudanzas de los niveles de fertilidad, entre el análisis inicial y aquellos posterior a la incorporación de abonos verdes (Crotalaria y Sorgo), mostrando un incremento en el porcentaje de materia orgánica, pero, una disminución en los macro nutrientes, principalmente de N, P, K Ca y S. La parcela como unidad de control (barbecho), hipotéticamente, mantiene sus niveles de fertilidad, y analógicamente, las condiciones texturales son invariables en todas las parcelas experimentales.

Los resultados de análisis, se pueden categorizar de acuerdo a los parámetros fijados por Guaygua y Espinoza (2019), quienes posicionan los niveles de pH, en neutros (pH=6,8) del muestreo inicial, ácidos (pH= 6,38) de la parcela con crotalaria, neutros (pH = 6,64) de la del sorgo y alcalinos (pH = 7,99) en la de unidad de control (barbecho), esta última, se presume consecuencia de la acumulación de sales, consecuencia de los frecuentes inundaciones, por sus condiciones superficiales de bajo nivel.

Los niveles de materia orgánica se encuentran en niveles bajos y muy bajos, mismo así, los macro y micronutrientes, en general las parcelas experimentales son pobres en fertilidad, consecuencia, del uso excesivo en el monocultivo

de la caña de azúcar y las malas prácticas de fertilidad del suelo.

La fertilización química se realizó con los principales macronutrientes (N, P y K), aplicando una dosis conforme el resultado del análisis de suelo y el requerimiento del cultivo de caña. El P se aplicó durante de la siembra, el N y el K aproximadamente a los 70 días después de la siembra. Como fuente de macronutrientes, se utilizaron, urea al 46% para el N, fosfato monoamónico al 12% N - 52% P₂O₅ para P y cloruro de potasio al 60% de K₂O para el K.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de varianza

Los resultados de análisis de varianza, de la evaluación de las variables agronómicas (NT, ATM, DT, PTM en 6 m² y PS) fueron evaluadas a un nivel de significancia de 5% de probabilidad, en la Tabla 3, se exhiben los niveles de significancia, la diferencia mínima significativa (DMS) y el coeficiente de variación (CV) a nivel de parcela y sub parcelas.

Tabla 3. Resultados estadísticos de análisis de varianza de variables o características agronómicas

Parcela	Sub parcela	NT	ATM	DT	PTM 6	PS
		(planta ha ⁻¹)	(cm)	(mm)	m ² (kg)	(%)
Abono verde	Crotalaria	76.389 A	324,7 A	22,01 B	52,71 A	11,343 A
	Sorgo	68.194 B	316,1 A	23,25 A	45,37 A	11,492 A
	Barbecho	54.861 C	234,2 B	21,81 B	29,02 B	11,656 AB
Variedad	RBB 77-26	59.444 B	279,9 B	23,14 C	39,09 B	11,747 C
	UCG 96-10	85.417 A	287,7 B	19,75 B	46,44 A	11,277 B
	UCG 90-20	54.583 C	307,5 A	24,18 A	41,57 AB	11,467 AB
Fertilización	Con Fertilizante	69.259 A	291,5 A	22,54 A	46,67 A	11,49 A
	Sin Fertilizante	63.704 B	291,8 A	22,17 A	38,06 B	11,50 A

Abono verde/ Variedad	Crot./RBB 22-26	65.833	320	22,8	47,72	11,315
	Crot./UCG 96-10	98.333	308,5	19,66	54,07	11,202
	Crot./UCG 90-20	65.000	345,5	23,58	56,32	11,512
	Sorgo/RBB 77-26	65.000	294,7	24,33	42,45	12,081
	Sorgo/UCG 96-10	84.167	325,7	20,19	51,45	11,113
	Sorgo/UCG 90-20	55.417	327,9	25,23	42,2	11,282
	Barb./RBB 77-26	47.500	224,8	22,3	27,1	11,847
	Barb./UCG 96-10	73.750	228,9	19,41	33,8	11,517
	Barb./UCG 90-20	43.333	248,9	23,72	26,17	11,605
Abono verde/ Fertilizante	Crot. Con Fert.	81.111	329,4	21,97	58,67	11,213
	Crot. Sin Fert.	71.667	319,9	22,05	46,75	11,473
	Sorgo Con Fert.	70.000	314,4	23,74	50,47	11,501
	Sorgo Sin Fert.	66.389	317,8	22,76	40,27	11,483
	Barbecho Con Fert.	56.667	230,7	21,92	30,88	11,767
	Barbecho Sin Fert.	53.056	237,8	21,7	27,17	11,545
Probabilidad	Abono verde	0,001 **	<0,001 **	0,004 *	<0,001 **	0,108 ns
	Variedad	<0,001 **	0,002 **	<0,001 **	0,021 *	0,002 **
	Fertilización	0,010	0,921 ns	0,113 ns	<0,001 *	0,949 ns
	Abono/Variedad	0,712 ns	0,164 ns	0,362 ns	0,300 ns	0,017 ns
	Abono/Fertilizante	0,405 ns	0,162 ns	0,164 ns	0,096 ns	0,186 ns
	Variedad/ Fertilizante	0,887 ns	0,025 *	0,777 ns	0,540 ns	0,151 ns
	Abono/ Variedad/Fert.	0,754 ns	0,001 **	0,514 ns	0,323 ns	0,114 ns
DMS	Abono verde	7.708,2	28,52	0,825	8,407	0,3678
	Variedad	7.980,5	14,45	0,807	6,225	0,3434
	Fertilización	4.124,6	7,41	1,38	11,72	0,6006
	Abono/Variedad	12.853,0	32,29	1,05	8,768	0,4108
	Abono/Variedad/Fert.	15.218,0	35,21	1,385	11,712	0,6006
CV (%)	Abono verde	6,7	5,7	1,8	11,0	1,5
	Abono/Variedad	14,0	5,8	3,2	13,9	2,4
	Abono/Variedad/Fert.	12,8	5,3	4,3	15,6	3,8

*Significativo; ** = Altamente significativo; ns = no significativo; **DMS** = diferencia mínima significativa; **CV** = coeficiente de variación.

NT= Número de tallos, ATM = Altura de tallo molible, PTM = Peso de tallo molible, DT = Diámetro de tallo, PS = Porcentaje de sacarosan..

Según Silva et al. (2008), los rasgos biométricos agronómicos son componentes importantes para la formación de la producción final en la caña de azúcar.

El número de tallos (NT), según Tabla 3 muestra resultados de la interacción estadística con abonos verdes, donde indica que, hay diferencia altamente significativa ($f_c = 0,001$) entre parcelas experimentales, con una población de 76.389, 68.194 y 54.861 plantas ha^{-1} en crotalaria, sorgo y barbecho respectivamente, como se puede observar, la parcela abonada con Crotalaria es la que destaca en población, con una diferencia de hasta 8.195 plantas ha^{-1} en relación al sorgo, y 21.528 plantas ha^{-1} en relación al barbecho, en ambos casos, superior a la DMS de 7.708,2 plantas ha^{-1} .

Asimismo, el NT con las variedades (RBB 77-26, UCG 96-10 y UCG 90-20) también hay diferencia altamente significativa ($f_c < 0,001$) como se muestra en la Tabla 3, destacando la variedad UCG 96-10, seguido de RBB 77-26 y UCG 90-20 con 85.417, 59.444 y 54.861 plantas ha^{-1} respectivamente, la distancia numérica entre UCG 96-10 y RBB 77-26 es de 25.973 plantas ha^{-1} y, entre UCG 96-10 y UCG 90-20 de 30.833 plantas ha^{-1} , entretanto, entre RBB 77-26 y UCG 90-20 de 4.583 plantas ha^{-1} , los dos primeros casos ampliamente superiores a la DMS = 7.980 plantas ha^{-1} , y esta última inferior a la DMS. De igual forma, el análisis estadístico muestra que, hay diferencia significativa cuando se aplica fertilizante ($f_c = 0,01$) con un incremento de 5.555 plantas ha^{-1} respecto a las parcelas sin fertilizar, superior a la DMS, con apenas de 4.124,6 plantas ha^{-1} (Tabla 3).

La variable altura de tallo molible (ATM), según análisis de varianza, reporta una diferencia altamente significativa ($f_c < 0,001$) con los abonos verdes (Tabla 3), con 324,7, 316,1 y 234,2 cm, en las parcelas de crotalaria, sorgo y barbecho respectivamente, con una diferencia de altitud de

90,5 cm entre crotalaria y barbecho y 81,9 cm entre sorgo y barbecho, superiores a la DMS de 28,52 cm, dichas alturas de planta, son superiores a lo obtenido por Da Silva y Da Costa (2004) un promedio de 263 cm en condiciones de caña sin irrigar y, de 300 cm en caña irrigada. Misma variable (ATM) en relación con las variedades, presentan diferencia altamente significativa ($f_c < 0,001$) conforme al siguiente orden decreciente UCG 90-20, UCG 96-10 y RBB 77-26, con 305,7; 287,7 y 279,9 cm respectivamente, con una diferencia de 27,6 cm entre la variedad UCG 90-20 y la RBB 77-26, pero, esta última, no presenta diferencia significativa con la variedad UCG 96-10. Finalmente, la interacción de fertilización respecto a la ATM indica que, hay diferencia altamente significativa ($f_c = 0,001$). Presentando mayor altura la variedad UCG 90-20 sin fertilización sobre rastrojo de crotalaria, sorgo y barbecho seguido de UCG 96-10 que tiene mayor altura sobre rastrojo de sorgo, crotalaria y barbecho la misma variedad presenta respuesta a la fertilización con NPK, teniendo mayor altura cuando se fertiliza. De forma general esta variable es más una característica varietal (Tabla 3).

El diámetro de tallo (DT), presenta diferencia significativa entre variedades, lo que no es influenciado por la fertilización, ya que es una característica varietal; sin embargo, presenta diferencia altamente significativa entre abonos verdes, donde se observa mayor diámetro sobre el rastrojo de sorgo, no existiendo diferencia sobre crotalaria y barbecho sobre esta variable ya que la DMS es de 0,825 mm (Tabla 3). Similarmente, se observa diferencia altamente significativa entre variedades ($f_c < 0,001$) presentado mayor diámetro la variedad UCG 90-20 seguido de RBB 77-26 y UCG 96-10 con 24,18; 23,14 y 19,75 mm respectivamente, siendo que, la DMS está en apenas 0,807 mm, como ya se menciona anteriormente, esta variable es una característica dada por la variedad, por lo tanto, la combinación de todos estos rasgos agronómicos podría afectar el rendimiento final.

Se ha encontrado que la respuesta del diámetro del tallo depende de la variedad (Da Silva y Da Costa, 2004).

3.1.1. Niveles de sacarosa (%)

Según el análisis de varianza (Tabla 3), el porcentaje de sacarosa (PS), existe diferencia altamente significativa entre variedades ($f_c = 0,002$) influenciado por abonos verdes, presentando mayor contenido de sacarosa sobre rastrojo de crotalaria,

barbecho y sorgo respectivamente, pero, no existe diferencia entre estos dos últimos, ya que la diferencia entre si, es menor a la $DMS = 0.2372\%$.

El contenido de sacarosa respecto a los abonos verdes y variedad presenta diferencia significativa ($f_c = 0,017$) con mayor contenido de sacarosa en la variedad RBB 77-26 sobre rastrojo de sorgo con $12,08\%$ y barbecho con $11,84\%$, entretanto, la variedad UCG 90-20 y UCG 96-10 presenta mayor contenido de sacarosa en rastrojo de barbecho y crotalaria.

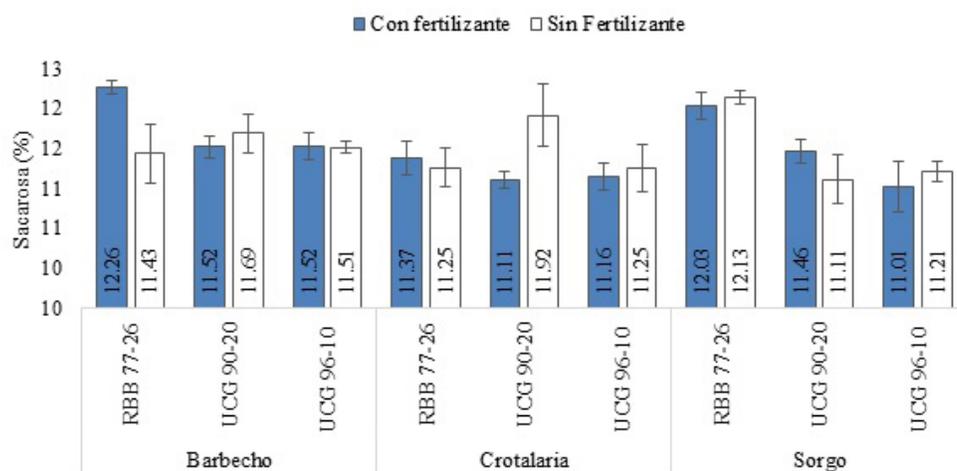


Figura 1. Variable de respuesta del porcentaje de sacarosa sobre las parcelas de abono verde, su parcelas variedades de caña y fertilización

Los niveles de sacarosa (Figura 1), fueron mayores en la variedad RBB 77-26, mostrando óptima respuesta en las parcelas con barbecho, sorgo y crotalaria respectivamente. La variedad UCG 90-20 fue el segundo colado, en el mismo orden de la anterior variedad, sin embargo, los resultados en los tres casos son atípicos, siendo que, las desviaciones estándar de las parcelas sin fertilización muestran mayor sesgo, lo que induce a entender que, en la parcelas con barbecho y crotalaria los resultados de PS responde mejor en las parcelas sin fertilizar,

similar caso se muestra con la variedad la UCG 96-10. Sin embargo, Cavalcante & de Albuquerque (2015) indican que, los niveles de sacarosa depende de muchos factores como: la diversificación de variedades, tipos de variedades (temprana, media, tardía), etapa de maduración, prácticas de cultivo, condiciones climáticas, longevidad del cultivo de caña de azúcar, tipo de suelo, calidad y cantidad de fertilizante, cantidad y calidad de la vinaza aplicada, entre otros factores agronómicos.

3.1.2. Rendimiento (toneladas de caña por hectárea)

Los resultados muestran que, la variable rendimiento (Y) según análisis de varianza, presenta diferencia altamente significativa respecto a los abonos verdes, destacando la crotalaria ($fc < 0,001$), mismo así, hay diferencia significativa en fertilización ($fc = 0,021$). Las variedades tienen mayor rendimiento sobre rastrojo de crotalaria, sorgo y barbecho con 87,8; 75,6 y 48,4 t ha⁻¹ sucesivamente, con un incremento de 39,4 t de caña en relación al barbecho, no existiendo diferencia con el rastrojo de sorgo, cuya DMS = 13,38 t ha⁻¹. En el caso de las leguminosas utilizadas en la fertilización verde, se destaca la Crotalaria por ser una planta poco exigente en nutrientes, con

gran potencial de fijación biológica de N₂, y por presentar crecimiento rápido (Araújo & Almeida, 1993). También existe diferencia significativa entre variedades ($fc = 0,021$) según los resultados del análisis de varianza (Tabla 3) presentando mayor rendimiento la variedad UCG 96-10 con 77,4 2 t ha⁻¹, UCG 90-20 con 69,3 2 t ha⁻¹ y RBB 77-26 con 65.2 t ha⁻¹ respectivamente, teniendo una diferencia de 12,2 2 t ha⁻¹ con respecto a la variedad RBB 77-26, no obstante, no existe diferencia significativa con la variedad UCG 90-20 (DMS = 8,44 t ha⁻¹).

La fertilización según análisis de varianza, existe diferencia altamente significativa sobre el rendimiento cuando se aplica fertilizante ($fc < 0,001$) con un incremento de 14,4 t ha⁻¹ superior a 5,33 t ha⁻¹ de la DMS.

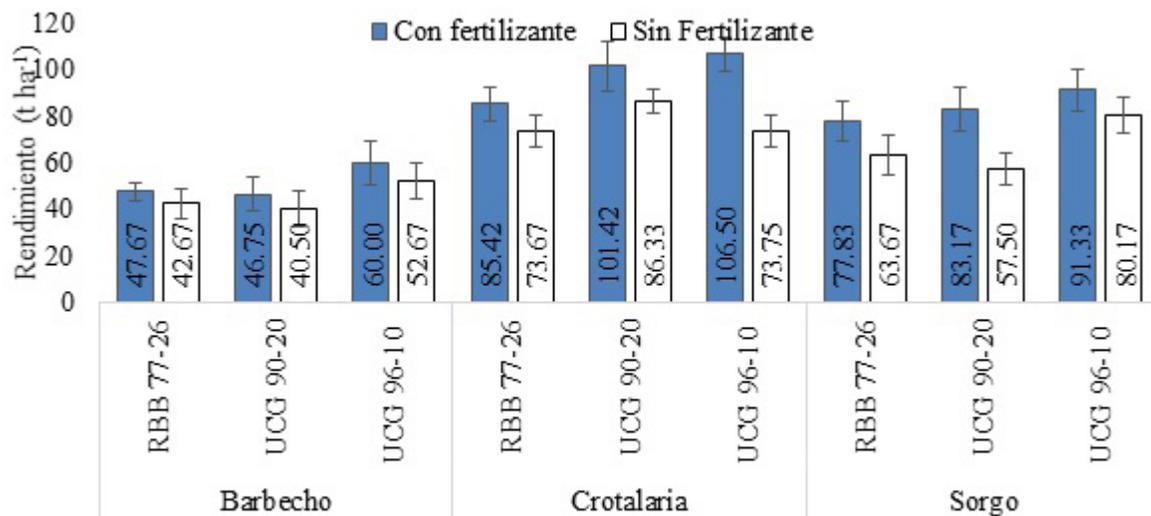


Figura 2. Variable de respuesta rendimiento sobre las parcelas de abono verde, su parcelas variedades de caña y fertilización

En la Figura 2, se constata claramente la diferencia significativa en el rendimiento de variedades de caña de azúcar, respondiendo mejor en la fertilización verde con crotalaria, mismo así, en la aplicación de fertilización química, donde la variedad UCG 96-20 reportó mejor respuesta, seguido de la variedad UCG

90-20 y la variedad RBB 77-26 respectivamente. Según los resultados de la Figura 2, el abonamiento con leguminosas (crotalaria) fueron eficientes en el aporte de nutrientes, seguido de las gramíneas (sorgo) y analógicamente el barbecho.

Según Vitti et al. (2015) la fertilización verde es una práctica obligatoria dirigida a mantener el equilibrio del sistema, siendo responsable de varios efectos: Actuar como fuente de nutrientes -particularmente nitrógeno- que resulta de la fijación simbiótica; disminuir en la fijación de fósforo, debido a un aumento de la materia orgánica, mejorar la estructura del suelo, control de nematodos, concretamente cuando se usa *Crotalaria spectabilis* o *Crotalaria ochroleuca*, solubilización más rápida del Ca, Mg, S y P que se encuentra en los correctivos, haciéndolos más fácilmente disponibles para la caña de azúcar. Por su parte, Araújo et al. (2018) también indican que la *Crotalaria* se destaca porque tiene un crecimiento rápido, un potencial de producción de materia seca y es eficiente en la fijación biológica de nitrógeno y el ciclo de nutrientes en el suelo. Entretanto, el sorgo almacena en la planta, azúcares, los almidones como principales compuestos (Bhat, 2019). Asimismo, el sorgo es una buena fuente de minerales, el rango de diversos minerales, como el calcio, el fósforo y hierro son de 11 a 586 mg

Ca/100 g, de 167 a 751 mg P/100 g y de 0,9 a 20 mg Fe/100 g (Ratnavathi, 2019).

3.2. Análisis de regresión lineal (R^2)

Los atributos agronómicos de la caña de azúcar (NT, ATM, DT y PTM), considerados como variables de predicción o independientes y, el Rendimiento ($t\ ha^{-1}$) así como el porcentaje de sacarosa, considerados como variables de respuesta o dependientes. Su grado de asociación entre ambas variables –de predicción y de respuesta-, fue determinados mediante la aplicación del modelo estadístico de regresión lineal simple, como lo describe Stevenson (1981) una ecuación matemática lineal, relacionado entre dos variables, que consiste en un conjunto de puntos que corresponde a n observaciones. Conforme indicado, en las Figuras 3(a), 3(b), 3(c) y 3(d), se observan los niveles explicativos de las variables independientes frente a las dependientes.

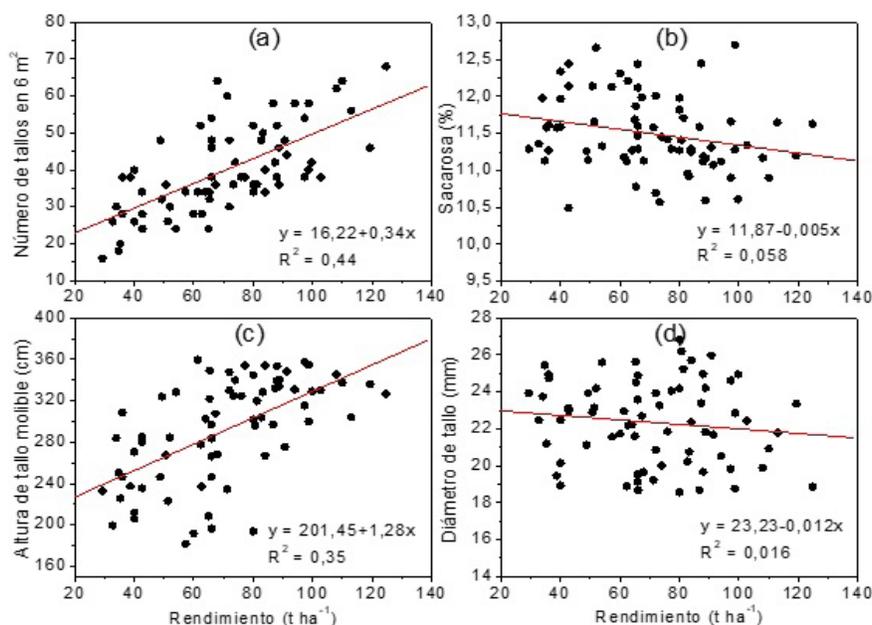


Figura 3. Relación (R^2) de la variable dependiente Rendimiento, respecto a las variables independientes (a) Número de tallos en 6 m² (NT), (b) Porcentaje de sacarosa (PS), (c) Altura de tallo molible (ATM) y (d) Diámetro de tallo (DT).

La asociación de los atributos agronómicos de NT y ATM con el Rendimiento, explican en un 44% (Figura 3a) y 35% (Figura 3c) respectivamente, estos valores indican la baja representatividad entre variables, como lo describe Martínez (2005) que la medida de dispersión de la ecuación de regresión lineal es evaluada mediante el coeficiente de determinación lineal (R^2). Por su definición el coeficiente de determinación, es una medida delimitada, siendo sus límites: $0 \leq R^2 \leq 1$. Un R^2 igual a 1 (uno) significa un ajuste lineal perfecto, ya que la variación total de las variables agronómicas (x_i) es explicada por el modelo de regresión. El valor 0 (cero) indica la no representatividad del modelo lineal, lo que supone que el modelo no explica nada de la variación total de la variable x_i .

Por otra parte, ambas variables (NT y ATM)

muestran una tendencia positiva, indicando que, a mayor número de tallos y mayor altura de planta, mayor serán los rendimientos de la caña de azúcar. Entretanto, las variables de PS y DT, indican no tener ninguna relación con el rendimiento, siendo que, sus valores R^2 son próximos a cero (Figura 3b y 3d), además, muestra tendencia negativa, lo que explica que, a menor valor de porcentaje de sacarosa y diámetro del tallo, mayores serán los rendimientos. Landell y Silva (2004) indica que, dichos atributos de producción decisivos para la formación del potencial agrícola son la combinación de la altura, el número y el diámetro del tallo, por lo tanto, en un área determinada, el rendimiento podría ser el producto de estos componentes dividido por espacio. Esto justifica la importancia de estos componentes en la determinación del rendimiento.

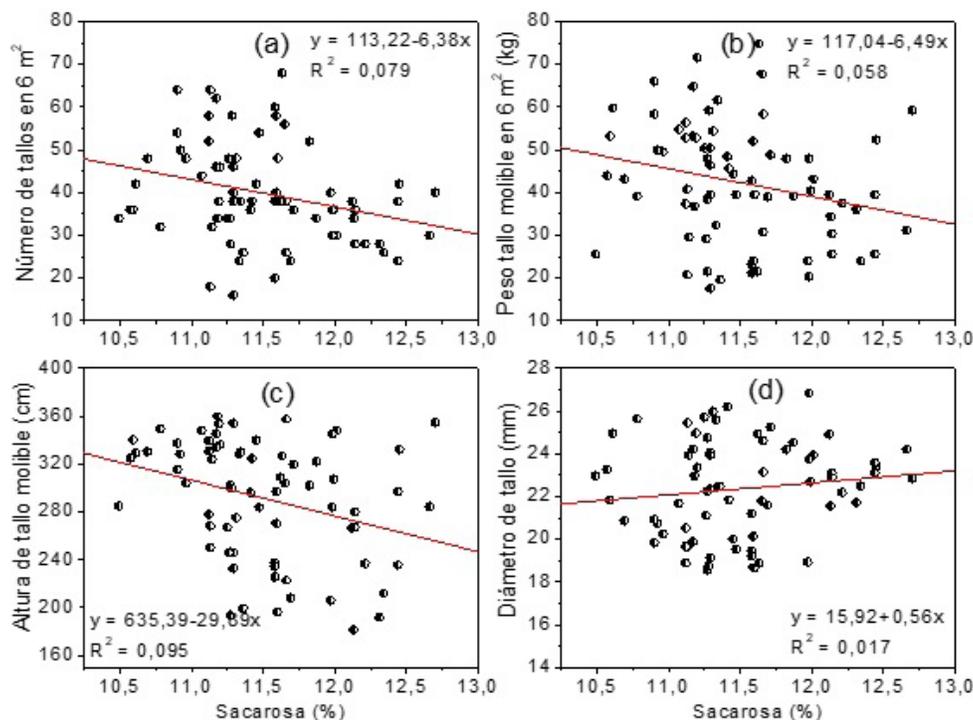


Figura 4. Relación (R^2) de la variable dependiente porcentaje de sacarosa respecto a las variables independientes (a) Número de tallos en 6 m² (NT), (b) peso de tallo molible en 6 m² (PTM), (c) Altura de tallo molible (ATM) y (d) Diámetro de tallo (DT).

En la Figura 4, se muestran los niveles explicativos de los atributos agronómicos versus la variable porcentaje de sacarosa (PS), donde se muestra que ninguna de las cuatro variables agronómicas indican tener alguna relación, es decir, no explican nada de la variación del variable porcentaje de sacarosa, sabiendo que, sus valores de R^2 son próximos a cero (0), además, las tendencias lineales de las Figuras 4a, 4b y 4c (NT, PTM y ATM) muestran relación inversa con el PS, o sea, cuando las variables agronómicas de PT, PTM y ATM aumentan, el PS tiende a disminuir. Escenario contrario se muestra con las variables DT (Figura 4d), donde, indica tener relación directa o tener proporcionalidad.

4. CONCLUSIONES

El rastrojo de abono verde de crotalaria tuvo mayor efecto en cuanto a la NT, ATM, PTM, que los rastrojo de sorgo y barbecho, ya que aporta mayor cantidad de materia orgánica, conforme se constata con el análisis de suelo. También, hay respuesta a la fertilización con N, P y K sobre estas variables.

El contenido de sacarosa (%) muestra inestabilidad, ya que es influenciado por las condiciones climáticas como temperatura, precipitación, radiación solar y principalmente, el manejo de plagas (barrenador del tallo). En esta oportunidad presentó mayor contenido de sacarosa la variedad RBB 77-26 respecto a la variedad UCG 90-20 y UCG 96-10 en la parcela con rastrojo de crotalaria.

Los óptimos rendimientos y contenidos de azúcar, se presentó sobre rastrojo de crotalaria, siendo la variedad UCG 96-10 con mayor rendimiento, seguido de la variedad UCG 90-20 y RBB 77-26, además, indicar también que hay respuesta a la fertilización con N, P y K.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Ambrosano, E. J., Trivelin, P. C. O., Cantarella, H., Ambrosano, G. M. B., Schammass, E. A., Guirado, N., Rossi, F., Mendes, P. C. D. and Muraoka, T. (2005). Utilization of nitrogen from green manure and mineral fertilizer by sugarcane. *Scientia Agricola*, 62(6), 534–542. doi: 10.1590/s0103-90162005000600004.
- Araújo, A. P. e Almeida, D. L. (1993). Adubação verde associada a fosfato de rocha na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28(3), 245-251.
- Araújo, A. V. de, Araújo, E. F., Amaro, H. T. R., Santos, R. H. S., & Cecon, P. R. (2018). Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. *Revista Ciência Agronômica*, 49(1). doi:10.5935/1806-6690.20180012.
- Bhat, B. V. (2019). Breeding Forage Sorghum. *Breeding Sorghum for Diverse End Uses*, 175–191. doi:10.1016/b978-0-08-101879-8.00011-5.
- Cavalcante, C. S., & de Albuquerque, F. M. (2015). *The Sugar Production Process. Sugarcane*, 285–310. doi:10.1016/b978-0-12-802239-9.00014-1.
- Da Silva, A. L. C., Da Costa, W. A. J. M. (2004). Varietal variation in growth, physiology and yield of sugarcane under two contrasting water regimes. *Tropical Agricultural Research*, 16, 1-12.
- Da Silva, M., Jifon, J. L., Da Silva, J. A. G., Dos Santos, C. M., & Sharma, V. (2012). Relationships between physiological traits and productivity of sugarcane in response to water deficit. *The Journal of Agricultural Science*, 152(01), 104–118. doi:10.1017/s0021859612000834.
- Guaygua G. E. y Espinoza D. R. (2019). *Muestreo de suelos e interpretación de resultados de laboratorio*. Fundación CETABOL (Centro Tecnológico Agropecuario en Bolivia). Santa Cruz, Bolivia. Disponible en <http://www.cetabol.bo/sitio/index.php/suelos/area-de-suelos>.
- Köppen, W. (1936). *Das geographische system der klimate*. Em: Köppen, W.; Geiger, R., editores. *Handbuch der klimatologie*. Berlin: Gebruder Borntraeger. S.

- Landell, M. G. A. e Silva, M. A. (2004). As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. *Visão Agrícola*, 1, 18-23.
- Martínez R., E. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario Jurídico y Económico Escurialense*, Buenos Aires, 38, 315-332.
- Mischan M, M. e Pinho S., Z (1996). *Experimentação agrônômica: dados não balanceados*. Fundação do Instituto de Biociências FUNDIBIO, Botucatu-SP, Brasil.
- Montes de Oca, I. (1997). *Geografía y Recursos Naturales de Bolivia*, 3.Ed., Cobija: Edobol.
- Ratnavathi, C. V. (2019). *Grain Structure, Quality, and Nutrition. Breeding Sorghum for Diverse End Uses*, 193–207. doi:10.1016/b978-0-08-101879-8.00012-7.
- Silva, M. de A., Silva, J. A. G. da, Enciso, J., Sharma, V., & Jifon, J. (2008). *Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane*. *Scientia Agricola*, 65(6), 620–627. doi:10.1590/s0103-9016200800060000.
- Skinner, J. C. (1967). *Grading varieties for selection*. In: International society of sugar cane technologists congress, 12., Santurce: ISSCT, 938-949.
- Stevenson, W. J. (1981). *Estatística aplicada à administração*. HARBRA Ltda. São Paulo.
- Velasco-Velasco, J. (2014). *Los biofertilizantes y la producción de caña de azúcar (Saccharum spp.)*, Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados, México.
- Vitti, G. C., de Cerqueira Luz, P. H., & Altran, W. S. (2015). Nutrition and Fertilization. *Sugarcane*, 53–88. doi:10.1016/b978-0-12-802239-9.00004-9.
- Wood, R. A. (1990). The roles of nitrogen, phosphorus and Potassium in the production of sugarcane in South Africa. *Fertilizer Research*, 26(1-3), 89–98. doi:10.1007/bf01048746.