

DINÁMICA DEL NITRÓGENO EN CAÑA DE AZÚCAR DESPUÉS DE APLICACIÓN DE ABONO VERDE (*Crotalaria juncea*) Y N-MINERAL APLICADOS JUNTOS O SEPARADAMENTE

Edmilson José Ambrosano⁽¹⁾; Paulo Cesar Ocheuze Trivelin^(2,6); Heitor Cantarella^(3,6); Gláucia Maria Bovi Ambrosano^(4,6); Nivaldo Guirado⁽¹⁾; Raffaella Rossetto⁽¹⁾; Takashi Muraoka^(2,6); José Albertino Bendassolli^(2,6); Eliana Aparecida Schammas⁽⁵⁾; Fabrício Rossi^(1,7); e Paulo Cesar Doimo Mendes^(1,6).

⁽¹⁾Pólo Regional Centro Sul, DDD/apta, IAC, C.P. 28 CEP: 13400-970 - Piracicaba, SP. *edmilson.ddd@apta.sp.gob.br; 021-55-1934215196

⁽²⁾ Lab. de Isótopos Estáveis, CENA/USP, Piracicaba, SP.; ⁽³⁾ Centro de Solos – IAC, Campinas, SP.; ⁽⁴⁾ FOP-UNICAMP, Bioestatística, Piracicaba, SP.; ⁽⁵⁾ Instituto de Zootecnia, Bioestatística, Nova Odessa, SP. ⁽⁶⁾ Bolsista CNPq; ⁽⁷⁾ Bolsista CAPES

Apoyo FAPESP- 1998/16446-6 e CNPq- 462629/00-7

INTRODUCCIÓN:

Al final de la década de los años 50 los estudios realizados con abonos verdes indicaron incrementos en la productividad de la caña de azúcar y probablemente del azúcar producida en los sistemas que utilizaban abonos verdes en la renovación de áreas cañeras.

En el Estado de São Paulo, el estudio del comportamiento de la caña de azúcar en sucesión a los abonos verdes fue iniciado por Cardoso (1956), quien verificó mayor rendimiento de la plantación después del cultivo de crotalaria (*Crotalaria juncea*) que de mucuna prieta (*Mucuna aterrima*).

Cáceres & Alcarde (1995) obtuvieron resultados semejantes a los de otros autores y acrecentaron que el efecto de la aplicación del abono verde puede llegar como máximo hasta el tercer corte.

Con la práctica de la aplicación de abono verde, es posible recuperar la fertilidad del suelo proporcionando aumento del tenor de materia orgánica, de la capacidad de intercambio de cationes y de la disponibilidad de macro y micronutrientes; formación y estabilización de agregados; mejoría de la infiltración de agua y aireación del suelo; disminución diurna de la amplitud de variación térmica; control de nemátodos y en el caso de las leguminosas la incorporación de nitrógeno (N) al suelo, efectuada mediante la fijación biológica (Igue, 1984).

Diversos trabajos realizados en caña de azúcar por Trivelin et al. (1995, 1996) han demostrado valores de recuperación del nitrógeno aplicado en la forma mineral

que varían de 19% a 40%.

Basado en lo expuesto, se realizó el presente experimento con el objetivo de evaluar los resultados de la aplicación de abono verde y fertilización con nitrógeno mineral, el comportamiento del abono verde después de la incorporación al suelo y siembra de la caña de azúcar, calculándose el porcentaje de nitrógeno proveniente de la fuente orgánica comparado con la fuente mineral sola o aplicados juntos en la caña planta y su recuperación.

MATERIAL Y MÉTODOS:

El experimento fue realizado en Piracicaba, en área perteneciente a la Estación Experimental de Agronomía de Piracicaba, del Instituto Agronómico de Campinas, actual sede del Polo Regional de Desarrollo de los Agronegocios, Polo Centro Sur, del Departamento de Descentralización del Desenvolvimento de la Agencia Paulista de Tecnología de los Agronegocios de la Secretaría de Agricultura y Abastecimiento del Estado de São Paulo.

El suelo, clasificado como Argisolo Rojo Amarillo distrófico (Oxisol) fue muestreado en parcelas sin y con abono verde en el momento que fue cortado el abono y antes de la siembra de la caña y analizadas las características químicas y químico-físicas observadas en la tabla 1.

Tabla 1. Características químicas y químico-físicas del suelo en las parcelas sin y con abono verde a dos profundidades.

Variables	Suelo sin abono verde		Suelo con abono verde (Crotalaria)	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Profundidad				
pH	4.1	4.0	4.5	4.7
M.O. (g dm ⁻³)	26	22	24	22
P (mg dm ⁻³)	3	14	6	6
S (mg dm ⁻³)	12	15	8	8
K (mmol _c dm ⁻³)	0.7	0.5	0.3	0.3
Ca (mmol _c dm ⁻³)	7	6	12	11
Mg (mmol _c dm ⁻³)	6	5	11	10
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	50	68	36	31
Al (mmol _c dm ⁻³)	10	11	2	2
SB (mmol _c dm ⁻³)	13.7	11.5	23,3	21.3
CTC (mmol _c dm ⁻³)	63.7	79.5	59.3	52.3
V %	22	14	39	41

El experimento tuvo dos etapas siendo la primera referente a siembra y marcado del abono verde con nitrógeno-15 conforme descrito por Ambrosano et al, (2003), culminando con la obtención de material vegetal de crotalaria con más de 2 átomos % en exceso de ^{15}N , lo que garantizó la utilización en el estudio de interés.

La segunda fase del experimento fue constituida de 5 tratamientos utilizando la crotalaria, marcada con ^{15}N en el propio local de uso y obtenida en la primera fase de su desarrollo, siendo estos: 1)- testigo, sin abono verde y sin fertilizante mineral; 2)- sin abono verde, con fertilizante mineral marcado; 3)- con abono verde marcado y con fertilizante mineral; 4)- con abono verde marcado, sin fertilizante mineral; 5)- con abono verde y con fertilizante mineral marcado.

El experimento fue instalado en diciembre de 2000 con la siembra y marcado de la crotalaria y después de 90 días de crecimiento se realizó el corte y deposición de la masa vegetal en la superficie del suelo. La caña de azúcar fue sembrada al inicio de marzo de 2001 utilizando la variedad IAC- 87-3396 y después de 90 días de la siembra fue realizada la fertilización mineral con sulfato de amonio como fertilizante de cobertura.

La aplicación de ^{15}N -mineral en cobertura fue realizada el 29 de junio de 2001, utilizando sulfato de amonio y fue aplicada la cantidad equivalente a 70 kg de N por hectárea en los respectivos tratamientos. Se utilizó sulfato de amonio marcado con $3,02 \pm 0,01$ átomos % de ^{15}N .

Fueron utilizadas parcelas experimentales compuestas de diez líneas de caña de azúcar, espaciadas a 1,40 m, con 10 m de largo, siendo que cada tratamiento con N-abono verde marcado fue ubicado en el centro de la parcela compuesto de tres líneas de caña de azúcar con 2 m de largo y para parcelas de tratamientos con N-mineral dos líneas centrales de 1m de largo con el N-fertilizante marcado.

Además del nitrógeno aplicado en los respectivos tratamientos también fue aplicada una fertilización básica conteniendo 100 kg de P_2O_5 por hectárea en la forma de superfosfato triple y 100 kg de K_2O por hectárea en la forma de cloruro de potasio para garantizar un pleno crecimiento de la caña de azúcar respetando los bajos tenores encontrados por los análisis de esos elementos en la tierra.

En las fechas 29/10/2001; 20/02/2002 y 28/05/2002 fueron realizados muestreos tomando tres hojas enteras +3 (hojas con la 3ª aurícula visible según el sistema Kuijper) de plantas localizadas en el metro central de las parcelas con fertilizante mineral- ^{15}N y en posiciones correspondientes a las líneas adyacentes a

estas, siguiendo la metodología descrita por Trivelin et.al. (1994). En las muestras secadas en estufa a temperatura de 60 °C con circulación de aire y molidas en molino tipo Wiley, fueron realizados los análisis de abundancia de ^{15}N (átomos %) y tenor de N (%) por espectrometría de masa.

En todos los muestreos se colectaron 2 metros lineales de cada tratamiento para determinación de masa de material fresco de la parte aérea. Las muestras fueron molidas (tipo forraje), tomadas submuestras y se determinó la humedad del material fresco y tenor de nitrógeno (N%) e abundancia de ^{15}N en átomos % en espectrómetro de masa según Trivelin et al. (1973). Con los resultados obtenidos se estimó la producción media de masa de material fresco y seco (Mg/ha o TCH) y el nitrógeno total acumulado (kg/ha) en la parte aérea de la caña de azúcar en diferentes estadios de desarrollo.

En muestras compuestas por 10 culmos de caña de cada tratamiento, tomadas a los 15 meses de la siembra de la caña de azúcar y a los 18 meses (colecta final) se realizó análisis de Brix%, Pol% y azúcares total recuperados (ATR en kg por Mg de caña) en el Polo Centro Sur en Piracicaba. Con los datos obtenidos se calculó el TCH, el Pol %, el TPH, la ATR y la cantidad de Reales obtenidos con la venta de esa caña en el comercio local con base fiscal en 2003 (TR = 0,233 \$R de agosto de 2003).

Con los resultados isotópicos (átomos % de N) de las muestras de hojas +3 de los tres muestreos parciales y de los culmos de caña de los muestreos a los 15 y 18 meses (colecta final), se calculó el porcentaje y la cantidad de nitrógeno en la planta proveniente de la fuente marcada (NPPF; %) (abono verde y fertilizante mineral) y la recuperación del N-fertilizante (R;%), por medio de las ecuaciones 1, 2 y 3, conforme Trivelin, et al. (1994).

$$\text{NPPF (\%)} = (a/b) * 100 \quad (1)$$

$$\text{NPPF (kg ha}^{-1}\text{)} = [\text{NPPF (\%)/100}] * \text{NT (kg ha}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

$$\text{R(\%)} = [\text{NPPF (kg ha}^{-1}\text{)} / \text{NF (kg ha}^{-1}\text{)}] * 100 \quad (3)$$

Donde: a y b son las abundancias de ^{15}N (átomos % en exceso) en la planta y en el fertilizante marcado respectivamente; NT es el nitrógeno total acumulado en la planta de cana-de-azúcar (kg ha⁻¹); NF es la dosis de N-fertilizante (kg ha⁻¹). Para el cálculo de R% fue considerada la dosis de 70 kg ha⁻¹ para el fertilizante N mineral y 195,8 kg ha⁻¹ de N para la fuente orgánica (crotalaria).

Fueron registrados los valores de pluviosidad (mm de agua) y de la temperatura del ambiente ($^{\circ}\text{C}$), en el período del experimento en la estación meteorológica localizada en el propio Polo Centro Sur, Piracicaba.

Los resultados fueron sometidos al análisis de varianza, efectuándose siempre el análisis preliminar exploratorio en el proc lab del SAS y las medias de los tratamientos comparadas por el teste de Tukey ($\alpha=0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Observase en la Tabla 2 la evolución del rendimiento de material vegetal seco y fresco verificándose en todas las épocas de muestreo la menor productividad de los tratamientos testigo, sin abono verde y sin fertilizante mineral. Notase en la colecta el efecto positivo de los tratamientos fertilizados en la producción de material vegetal fresco y seco con destaque de los tratamientos con abono verde y N-mineral con relación a los restantes.

Resultados obtenidos por Mascarenhas et al. (1994) observaron efecto positivo de la aplicación de abono verde con crotalaria en caña de azúcar con productividades superiores a la aplicación de $40 \text{ kg de N ha}^{-1}$ separadamente.

Contrariando algunos resultados de la literatura que no observaron efecto del N-mineral aplicado conjuntamente con abono verde (Kanthack et al., 1991 con tremoso en maíz y Muraoka et al., 2001 con mucuna prieta y crotalaria en arroz) los resultados obtenidos reabren la discusión sobre la ventaja de aplicar nitrógeno en la caña planta en áreas que recibieron abono verde anteriormente.

Notase en la Tabla 2 que no se observó diferencias entre el tenor de nitrógeno y el N-acumulado y que esos datos son muy semejantes a los encontrados por Oliveira (1999), quien encontró valores medios de $252,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrógeno acumulado en la caña planta cosechada. Observase también un gran acumulo de nitrógeno durante los últimos tres meses, lo que fue observado también por Trivelin et al., (1996) en los últimos meses que antecedieron a la cosecha de la caña al final de zafra.

Ese acumulo puede ser interpretado como resultado de la intensa actividad fotosintética y de la acumulación de azúcares aliado a factores ambientales como baja precipitación, días de cielo limpio sin nubes, con medias elevadas de insolación y temperaturas medias de 18°C (Figura 2).

De forma general hubo un pequeño crecimiento de material seco de la caña de azúcar hasta el segundo muestreo, o sea, después de 12 meses de la siembra siendo que un gran aumento de material seco fue observado del tercero para el cuarto muestreo que fue realizado con 18 meses (Tabla 2).

Observase en la tabla 2 que el nitrógeno presente en la forma orgánica o mineral proporcionó aumentos de productividad a pesar que en el primer muestreo no se observó diferencia significativa entre el testigo, sin abono verde y sin N-mineral, y el tratamiento con N-mineral, no observándose aumentos de productividad con la presencia de las dos fuentes de nitrógeno, lo que puede indicar el potencial de la fertilidad natural del área experimental.

Notase también que en la época de la cosecha final el tratamiento que se diferenció del testigo fue el T3 que contenía presente las dos fuentes de N, sin embargo no presentó diferencias con el tratamiento T2 que contenía N-mineral como única fuente de N y con el T4 que solo contenía abono verde, lo que indica que el tratamiento con abono verde puede suministrar el N equivalente a una fertilización de hasta 70 kg de nitrógeno por hectárea. Con el resultado del análisis isotópico se puede concluir, sobre la base de los datos de la tabla 3, que no hubo diferencia en las cantidades de nitrógeno encontrada en la caña de azúcar indicando que tanto la fuente orgánica de nitrógeno como la mineral aplicadas fueron capaces de suministrar la demanda de la caña de azúcar.

Observase en la tabla 2 que los tenores de nitrógeno encontrados en las hojas de la caña de azúcar quedaron un poco por debajo de los tenores recomendados en el Boletín 100 del IAC (Instituto Agronómico de Campinas, São Paulo) como adecuados (18 a 25 g N kg⁻¹ de hoja seca). Vale resaltar que la recomendación para diagnóstico foliar realiza el muestreo en la fase de máximo crecimiento vegetativo y en el caso del presente experimento, la caña de azúcar fue muestreada en varias épocas hasta la cosecha donde las hojas ya presentan maduración y senescencia.

No se observa diferencias significativas importantes entre los tratamientos y sin una disminución en los tenores conforme llega la época de la cosecha presentando esta los menores tenores de nitrógeno.

Tabla 2. Peso de material vegetal de caña de azúcar fresco y seco, tenor de nitrógeno y nitrógeno acumulado en las diferentes épocas de muestreo.

Tratamientos	Peso fresco	Peso seco	Tenor de N	N Acumulado
	Mg ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹
Muestreo 1 (29 de octubre de 2001)				
Sin abono verde y sin N mineral	7.2 B	1.9 A	15.2 A	30.0 B
Sin abono verde con N mineral*	9.8 AB	2.4 A	15.9 A	38.8 AB
Con abono verde* y con N mineral	13.1 A	3.2 A	16.3 A	53.1 A
Con abono verde* y sin N mineral	12.2 A	2.9 A	15.3 A	44.9 AB
Con abono verde y con N mineral*	11.7 AB	3.1 A	16.0 A	50.1 A
C.V. %	9.85	3.55	22.18	6.08
Muestreo 2 (20 de febrero de 2002)				
Sin abono verde y sin N mineral	24.9 C	6.1 C	13.9 AB	84.3 C
Sin abono verde con N mineral*	31.2 BC	7.4 BC	14.6 A	108.5 B
Con abono verde* y con N mineral	36.3 B	8.6 AB	14.3 AB	123.9 B
Con abono verde* y sin N mineral	36.4 B	8.8 AB	12.8 B	112.1 B
Con abono verde y con N mineral*	44.4 A	10.9 A	14.3 AB	156.2 A
C.V. %	8.89	5.19	5.48	2.03
Muestreo 3 (28 de mayo de 2002)				
Sin abono verde y sin N mineral	32.5 C	10.3 A	11.5 AB	115.1 A
Sin abono verde con N mineral*	36.6 B	10.9 A	12.6 A	137.6 A
Con abono verde* y con N mineral	37.7 B	11.2 A	12.1 AB	135.3 A
Con abono verde* y sin N mineral	43.3 A	13.9 A	10.2 B	139.3 A
Con abono verde y con N mineral*	46.5 A	14.1 A	10.7 AB	158.9 A
C.V. %	1.00	11.53	8.61	13.35
Muestreo 4-colheita (24 de agosto de 2002)				
Sin abono verde y sin N mineral	85.9 B	25.5 B	6.8 A	177.4 A
Sin abono verde con N mineral*	106.2 AB	29.2 AB	7.5 A	235.6 A
Con abono verde* y con N mineral	128.7 A	37.9 A	6.9 A	256.9 A
Con abono verde* y sin N mineral	92.4 B	27.6 B	7.9 A	220.4 A
Con abono verde y con N mineral*	84.5 B	27.9 B	7.2 A	200.2 A
C.V. %	10.89	12.07	15.73	22.61

Medias seguidas de letras distintas en la vertical en cada época de muestreo son diferentes entre si por el teste de Tukey ($p < 0,05$). *Fuente de N marcada con ¹⁵N.

En la tabla 3 son presentados los resultados de Nitrógeno en la planta proveniente de la fuente marcada del fertilizante (NPPF %), cantidad de nitrógeno en la planta proveniente de la fuente marcada (QNPPF en kg ha⁻¹) y recuperación del nitrógeno (R en %) en función del nitrógeno aplicado en los diferentes muestreos. En

la primera época de muestreo se observa una tendencia clara de estar ocurriendo un sinergismo para las fuentes de nitrógeno cuando son empleadas las dos fuentes en conjunto (figura1).

En la figura 1 se observa que tres meses antes de la cosecha (muestra de 3 culmos) el porcentaje de nitrógeno en la planta proveniente de la fuente orgánica en los culmos de la caña de azúcar era bajo, menor que 5% y en la época de la cosecha esos datos aumentaron para casi 10%.

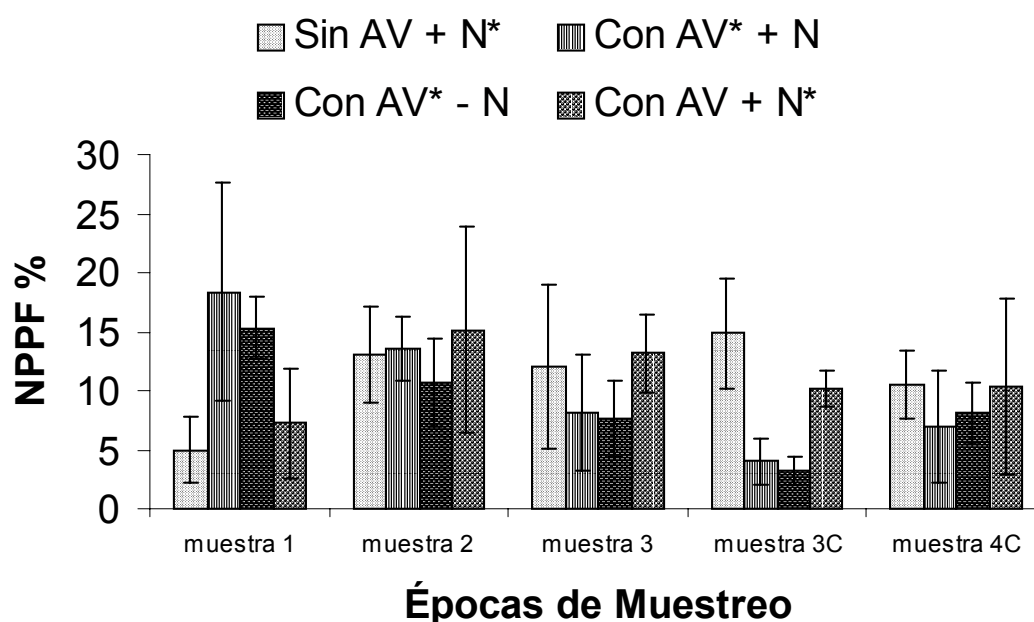


Figura 1. NPPF% (Nitrógeno en la Planta Proveniente de la Fuente marcada*) en los muestreos. C: culmos.

Resultados semejantes fueron observados por Trivelin et. al. (1995, 1996) cuando trabajaron con aprovechamiento de nitrógeno en caña de azúcar.

Esa característica fue observada con menor intensidad en las épocas intermediarias de la cosecha, la cual, sin embargo, no fue confirmada por el análisis estadístico como se puede observar en la tabla 3, mientras que para la primera época de muestreo, 8 meses después de la siembra, esas diferencias fueron detectadas por el análisis estadístico mostrando claramente mayor porcentaje de nitrógeno en la caña de azúcar proveniente de la fuente orgánica de nitrógeno. Resultados semejantes fueron obtenidos por Muraoka et. al. (2001) cuando utilizó una fuente orgánica junto o no a una fuente mineral y como utilizaron también las fuentes marcadas con N-15, se pueden comparar y observar comportamientos semejantes. En ese caso fueron utilizadas dos leguminosas, *Mucuna prieta* y

crotalaria y dos dosis de N mineral, 40 y 80 kg de N/ha en la forma de urea y concluyeron que los abonos verdes proporcionaron mejor uso del N mineral, sobretodo en las aplicaciones en cobertura, permitiendo una eficiencia de hasta 79%.

El hecho de notarse mayor porcentaje de nitrógeno en la caña de azúcar proveniente de la crotalaria en el primer muestreo puede indicar que en esa situación de estrés hídrico por la cual el cultivo estaba pasando tiene su nutrición mineral de nitrógeno garantizada por la fuente orgánica una vez que ese porcentaje fue casi cinco veces mayor que para la fuente mineral (Figura 1).

Ese hecho repercutió en la recuperación del nitrógeno siendo que en el primer muestreo no se observó diferencia de la fuente de nitrógeno en el porcentaje de N recuperado por la caña de azúcar.

En las épocas siguientes la recuperación calculada fue mayor para los tratamientos con N-mineral y en la época de la cosecha presentó una recuperación total (R-Abono verde + R-N mineral) de 39,93 %.

Con relación al nitrógeno recuperado por la caña de azúcar, a pesar de parecer que los valores son un tanto bajos, en torno de 30% para el N-mineral y 9% para el N-orgánico, estos están de acuerdo con los resultados de la literatura como por ejemplo los de Trivelin et al. (1995) que encontraron valores semejantes, entre 19 y 24% y Trivelin et al. (1996) que encontraron valores de recuperación de 38 y 43% respectivamente para amoníaco acuoso (aquamonía) y Urea en retoño de final de zafra y admiten, para la caña de azúcar, una gran parcela de N acumulado originario de la fijación biológica del nitrógeno y parte de la materia orgánica original del suelo.

Otra conclusión importante que se puede sacar de la observación de los resultados de la tabla 3 y figura 1 para las épocas intermediarias de muestreo es una inversión de los resultados observados en el primer muestreo debido a la ocurrencia de índice de humedad mayores en el sistema en esos períodos.

Esa condición de deficiencia hídrica puede ser mejor visualizada en la figura 2 que presenta las variaciones climatológicas en ese período.

En la época de la cosecha no se observó diferencias significativas entre las fuentes de nitrógeno lo que puede estar indicando que independientemente de la forma de N aplicada el porcentaje de N en la caña de azúcar proveniente de las diferentes fuentes fue semejante.

Eso da idea de la aplicación práctica del presente resultado, ya que se puede decir, que cuando se efectúa aplicación de abono verde en proporciones semejantes a la utilizada en el presente estudio, es posible dispensar por completo la fertilización con nitrógeno mineral de cobertura en la caña planta.

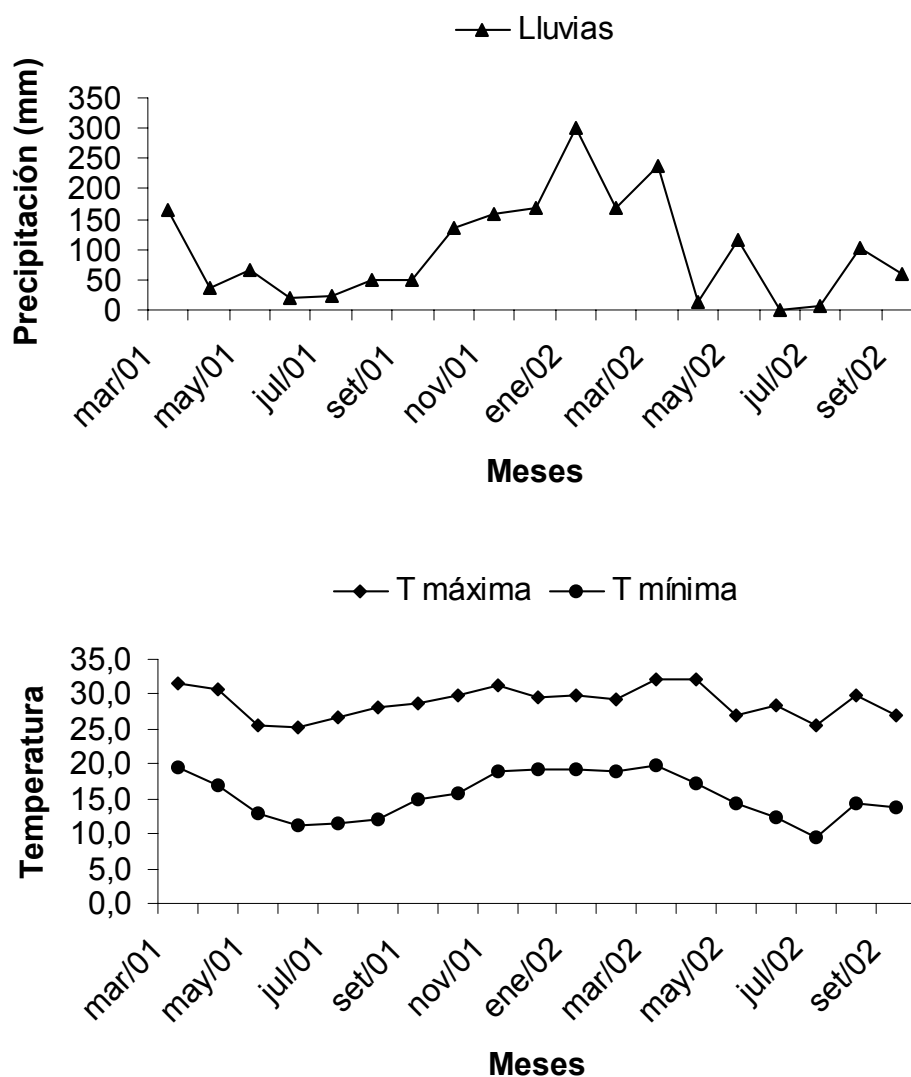


Figura 4. Datos climatológicos referentes a la temperatura máxima y mínima y lluvias ocurridas durante el período experimental.

Observase en la tabla 3 los datos calculados de la cantidad de nitrógeno en la caña de azúcar provenientes de las fuentes marcadas expresadas en g kg^{-1} y su recuperación en porcentaje. Las diferencias entre las cantidades de nitrógeno en la caña de azúcar provenientes de las fuentes marcadas fueron mas pronunciadas y significativamente diferentes en el primer muestreo donde la crotalaria suministró mayor cantidad de nitrógeno para la caña de azúcar.

Tabla 3. Nitrógeno en la planta proveniente de la fuente marcada del fertilizante (NPPF%), cantidad de nitrógeno en la planta proveniente de la fuente marcada (QNPPF en kg ha^{-1}) y recuperación del nitrógeno (R en %) en función del nitrógeno aplicado en los diferentes muestreos.

Tratamientos	NPPF	QNPPF	Recuperación
	%	Kg ha^{-1}	%
Muestreo 1 (29 de octubre de 2001)			
Sin abono verde y con N mineral*	4.98 B	1.85 B	2.64 A
Con abono verde* y N mineral	18.36 A	11.21 A	5.72 A
Con abono verde* y sin N mineral	15.31 A	6.91 AB	3.53 A
Con abono verde y N mineral*	7.24 AB	3.56 AB	5.09 A
C.V. %	25.55	48.00	54.03
Muestreo 2 (20 de febrero de 2002)			
Sin abono verde y con N mineral*	13.09 A	14.63 A	20.89 AB
Con abono verde* y con N mineral	13.51 A	16.34 A	8.34 BC
Con abono verde* y sin N mineral	10.70 A	12.24 A	6.25 C
Con abono verde y con N mineral*	15.13 A	24.53 A	35.05 A
C.V. %	18.06	55.72	20.57
Muestreo 3 (28 de mayo de 2002)			
Sin abono verde y con N mineral*	12.03 A	16.11 A	23.01 A
Con abono verde* y con N mineral	8.09 B	11.08 A	5.66 B
Con abono verde* y sin N mineral	7.58 B	10.73 A	5.47 B
Con abono verde y con N mineral*	13.20 A	21.65 A	30.93 A
C.V. %	33.97	35.44	21.06
Muestreo 3 culmos (28 de mayo de 2002)			
Sin abono verde y con N mineral*	14.84 A	4.16 A	5.94 A
Con abono verde* y con N mineral	4.02 B	0.94 B	0.48 B
Con abono verde* y sin N mineral	3.24 B	0.79 B	0.41 B
Con abono verde y con N mineral*	10.82 A	3.87 A	5.52 A
C.V. %	24.97	38.06	21.34
Muestreo 4 culmos (24 de agosto de 2002)			
Sin abono verde y con N mineral*	10.46 A	24.06 A	34.38 A
Con abono verde* y con N mineral	6.99 A	19.29 A	9.85 B
Con abono verde* y sin N mineral	8.17 A	17.27 A	8.82 B
Con abono verde y con N mineral*	10.32 A	21.06 A	30.08 A
C.V. %	39.42	42.84	22,80

Medias seguidas de letras distintas en la vertical en cada época de muestreo, difieren entre sí por el teste de Tukey ($p < 0,05$). *Fuente de N marcada con ^{15}N .

Se puede observar también que no hubo diferencia entre el suministro de nitrógeno de la crotalaria complementada o no con N mineral. Observase además una disminución en el suministro de nitrógeno por el fertilizante mineral adicionado en comparación con el nitrógeno de la crotalaria y aún significativamente mayor cuando es comparado con la aplicación de nitrógeno mineral sin la presencia del abono verde.

A partir de la segunda época de muestreo esa diferencia desapareció y se observa nítidamente un efecto de dilución del nitrógeno en la caña de azúcar que

Tabla 4. Rendimiento en toneladas de culmo (TCH), POL %, ATR, Tonelada de Pol por hectárea y reales producidos por hectárea en los diferentes muestreos.

Tratamientos	TCH	POL	ATR	TPH	REALES**
	Mg ha ⁻¹	%	Kg Mg ⁻¹	Mg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
Muestreo 3 (28 de mayo de 2002)					
Sin abono verde y sin N mineral	32.5 C	12.9 A	127.3 A	4.6 A	1057.40 C
Sin abono verde y con N mineral*	36.6 B	12.5 A	125.1 A	4.5 A	1067.57 C
Con abono verde* y con N mineral	37.7 B	12.6 A	125.6 A	4.7 A	1101.54 BC
Con abono verde* y sin N mineral	43.3 A	12.8 A	126.3 A	5.6 A	1391.72 A
Con abono verde y con N mineral*	46.5 A	12.2 A	122.9 A	5.7 A	1333.02 AB
C.V. %	1.00	6.68	5.12	7.21	1.22
Muestreo 4-cosecha (24 de agosto de 2002)					
Sin abono verde y sin N mineral	85.9 B	14.2 AB	135.1 AB	12.3 B	2711.68 B
Sin abono verde y con N mineral*	106.2 AB	14.1 AB	135.5 AB	14.9 AB	3346.43 AB
Con abono verde* y con N mineral	128.7 A	12.6 B	122.2 B	17.0 A	3829.73 A
Con abono verde* y sin N mineral	92.4 B	14.0 AB	135.5 AB	12.9 AB	2904.73 AB
Con abono verde y con N mineral*	84.5 B	14.8 A	140.9 A	13.3 AB	2980.00 AB
C.V. %	10.89	4.94	4.33	14.45	14.48
Muestreo retoño-cosecha (10 de octubre de 2003)					
Sin abono verde y sin N mineral	56.6 B	16.9 A	160.3 A	9.6 B	2114.67 B
Sin abono verde y con N mineral*	56.3 B	17.1 A	159.7 A	9.6 B	2092.60 B
Con abono verde* y con N mineral	89.5 A	16.7 A	157.7 A	15.0 A	3287.67 A
Con abono verde* y sin N mineral	85.6 A	16.9 A	157.3 A	14.3 A	3116.29 A
Con abono verde y con N mineral*	79.7 A	17.1 A	161.0 A	13.6 A	2995.11 A
C.V. %	13.57	2.22	2.33	14.87	15.00

Medias seguidas de letras distintas en la vertical en cada época de muestreo, difieren entre sí por el teste de Tukey ($p < 0,05$).

*Fuente de N marcada con ¹⁵N **Valores referentes al ATR de agosto de 2003.

crece rápidamente. A pesar que no fueron realizadas medidas de humedad del suelo, se podría pensar que otro factor que estaría contribuyendo para la obtención de esos resultados en la primera época de muestreo es la conservación de la humedad en los tratamientos con abono verde y ésta, estar favoreciendo la actividad microbiológica y el crecimiento de la caña de azúcar con el mejor aprovechamiento del nitrógeno.

En la tabla 4 se reportan los resultados de los análisis tecnológicos realizados en los culmos de caña de azúcar. Se puede observar que en la cosecha de la caña planta y del retoño que hubo una respuesta positiva a los tratamientos con fertilización nitrogenada, inclusive con aumento en el rendimiento del Pol por hectárea TPH el que influyó la rentabilidad obtenida, reales producidos por hectárea.

CONCLUSIONES:

La práctica del abono verde se mostró equivalente a la fertilización nitrogenada mineral de 70 kg de N por hectárea y promovió mayor productividad de la caña de azúcar (TCH) y de azúcar (TPH);

El efecto del abono verde en la TCH y TPH puede ser detectado en el retoño de la caña de azúcar;

Los mayores porcentajes de nitrógeno en la planta proveniente de la fuente marcada (NPPF %) fueron encontrados después de 8 meses de la siembra de la caña para los tratamientos con abono verde sin N-mineral y abono verde con N-mineral y fueron 15,31% y 18,36% respectivamente;

La mayor recuperación de nitrógeno fue encontrada en la cosecha, 18 meses después de la siembra, siendo que el tratamiento N-mineral presentó 34,8% y la suma de N-mineral mas N-crotalaria presentó 39,9%;

Los tratamientos alteraron significativamente algunos atributos del suelo promoviendo aumento en los tenores de Ca y Mg, Suma de Bases y Saturación de Bases con declino en la acidez potencial;

Agradecimientos: A los Técnicos de Apoyo Ângela Maria C. da Silva, Benedito Mota, Gilberto Bernardes Farias, Marcelo Alex Gil y María Aparecida C. de Godoy.

A los estudiantes Ana Paula Bueno de Godoy, Fernando Augusto Tassani Breferé, Priscila Helena da Silva y Rogério Haruo Sakai. A FAPESP y CNPq por el apoyo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; MURAOKA, T.; BENDASSOLLI, J. A.; AMBROSANO, G. M. B.; TAMISO, L. G.; VIEIRA, F. C.; PRADA NETO, I. Nitrogen-15 labeling of *Crotalaria juncea* Green Manure. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 181-184, 2003.
- CACERES N.T. & ALCARDE, J.C. Adubação verde com Leguminosas em Rotação com Cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) In: STAB, v.13-5, p. 13-20
- CARDOSO, E. Contribuição para o Estudo da adubação Verde dos Canaviais. Piracicaba, 1956. 96p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo. Adubação Verde no Brasil. F. Cargill, Campinas, 1984. 232-67.
- KANTHACK, R.A.D.; MASCARENHAS, H.A.A.; CASTRO, O.M. de & TANAKA, R.T. Nitrogênio aplicado em cobertura no milho após tremoço. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 1991, 26 (1):99-104.
- MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T.; COSTA, A.A.; ROSA, F.V. & COSTA, V.F. Efeito Residual das Leguminosas sobre o Rendimento Físico e Econômico da Cana-planta, *Boletim Científico IAC-32*. 1994.15p.
- MURAOKA, T.; AMBROSANO, E.J.; ZAPATA, F.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A.L.M.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E. & SCIVITTARO, W.B. Eficiência de abonos verdes (*crotalaria* y *mucuna*) y urea, aplicados solo o juntamente, como fuentes de N para el cultivo de arroz, *Terra*, v. 20, n. 1, p. 17-23, 2001.
- OLIVEIRA, M.W. Dinâmica do nitrogênio da uréia (^{15}N), no sistema solo-cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. Piracicaba, USP, 1999. 93p. Tese de Doutorado
- TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massas. Piracicaba: CENA, 1973. 41p. (Boletim Técnico, 2)
- TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Evaluation of a ^{15}N plot design for estimating plant recovery of fertilizer nitrogen applied to sugar cane. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.51,n.2, p226-234, 1994.
- TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e Uréia – ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 1995, 30 (12):1375-1385.
- TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L.. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de inicio de safra do nitrogênio da aquamônia- ^{15}N e Uréia – ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 1996, 31 (2):89-99.