

Mónica Salazar, Miguel Sánchez, Javier Saltos

BÚSQUEDA DE LA DOSIS ÓPTIMA DE FÓSFORO Y EVALUACIÓN DEL EFECTO ACTUAL Y RESIDUAL EN LA PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO DE CAÑA DE AZÚCAR

1.- Introducción

El uso eficiente de fertilizantes es considerado uno de los mayores factores más importantes para conseguir altas producciones en cualquier cultivo. El nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son primordiales para aumentar la producción de caña y azúcar. Sin embargo, la fertilización de caña en Ecuador se ha limitado al uso del nitrógeno y potasio durante varios ciclos. El P en cambio es aplicado en forma de DAP y SPT únicamente en caña planta.

La mayor área dedicada al cultivo de caña de azúcar se encuentra ubicada en la cuenca baja del río Guayas. Actualmente, los tres grandes ingenios azucareros de esta zona, han realizado un estudio detallado de suelos, determinándose entre seis y doce familias taxonómicas, según el Soil Taxonomy, USDA, 1999 y el Soil Survey Staff, 1993. Considerando la variabilidad del material parental, condiciones climáticas y la concentración de P en el suelo, fue necesario conocer cuál sería la cantidad óptima de fósforo (P) expresado como P_2O_5 en diferentes suelos de la Cuenca Baja del río Guayas. Para ello, se realizaron varios experimentos con la variedad Ragnar en suelos de los ingenios ECUDOS, San Carlos y Valdez, para determinar el efecto actual y residual de fósforo (P) en la productividad de la caña de azúcar.

2.- Materiales y Métodos

Los experimentos se establecieron en los ingenios ECUDOS, San Carlos y Valdez en agosto del 2003 en tres tipos de suelos usando la variedad Ragnar, la cual actualmente conforma el 70% del área sembrada. Se evaluaron por cuatro años, el primero corresponde a caña planta y los tres restantes a caña soca. En el estudio se probaron cinco niveles diferentes de fósforo (0, 30, 60, 90 y 120 kg P_2O_5 ha⁻¹) y tres frecuencias de aplicación (1: aplicado anualmente, 2: aplicado pasando un año y 3. Aplicado solo en caña planta).

Los tipos de suelos pertenecen al orden Inceptisol, correspondiente a las familias Typic Haplustept (B1), franco (Ingenio San Carlos) (Spaans et al. 2007); Vertic Haplustept (Cruz Armijos, Ingenio Valdez) (Valarezo et al. 2007), franco arenoso; y, Vertic Trophaquept, franco arenoso (Ruidoso, Ingenio ECUDOS) (Arzola et al. 2007). La unidad experimental fue una parcela de 10 m de largo por seis hileras (1.5 m de distancia entre hileras). El experimento consistió en un arreglo factorial 4x3, más dos tratamientos adicionales (cero aplicación de P y la dosis de P que usa el ingenio) dispuesto en un diseño de bloques completos al azar en cuatro repeticiones. Al momento de la siembra se aplicó una dosis de 60 kg de K_2O ha⁻¹ y los diferentes de niveles de P_2O_5 en el fondo del surco. Durante los

cuatro años en estudio se utilizó 120 kg N ha⁻¹ fraccionado en dos partes (45 y 90 dds). El N y K se aplicó anualmente; mientras que el P dependía de las frecuencias de aplicación en estudio. En caña planta el fertilizante se aplicó sobre la superficie en la hilera de la caña después del riego.

P en el suelo fue determinado por el método de Olsen Modificado medido por colorimetría (CINCAE. 2007). Antes del establecimiento del ensayo e inmediatamente después de cada cosecha se tomó muestras de suelos, a 30 cm de profundidad en la línea de la caña por cada unidad experimental para luego proceder a la fertilización.

La cosecha se realizó en forma manual a los 13 meses de edad en caña planta, y a los 12 meses en las socas. Los riegos, controles fitosanitarios y de plagas se realizó de acuerdo a lo establecido en cada ingenio.

3.- Resultados y discusión

No se presentó respuesta de la concentración de azúcar (KATC) a los niveles crecientes de P₂O₅ durante los cuatro años en estudio, por lo tanto, se realiza un análisis de la producción de azúcar en TAH, combinando las producciones de caña (TCH) y concentraciones de azúcar en KATC. A continuación se analiza cada uno de los efectos del fertilizante fosfatado en el suelo y producción de azúcar.

3.1.- Estimación del efecto de la aplicación de P₂O₅ en el suelo

El efecto de la aplicación del fertilizante fosfatado en la concentración del P en el suelo fue similar a través del tiempo; a pesar que, sus valores fueron diferentes anualmente, el promedio de los cuatro años permitió inferir sobre las respuestas obtenidas. En las tres localidades se produjeron cambios en los niveles de disponibilidad de P producidos por la aplicación de diferentes dosis de P₂O₅. Es decir, a medida que las dosis de P₂O₅ incrementaron, mayor fue el aumento del nivel de disponibilidad de P en el suelo en las tres frecuencias de aplicación, detectándose alta relación entre la aplicación del fertilizante fosfatado y la concentración de P (ppm) en el suelo, principalmente en el ingenio ECUDOS y San Carlos (Figura 1). Esto concuerda con otros estudios donde encontraron la misma relación de incrementos de P al aplicar P₂O₅ (El-Mahi et al. 2002 citado por El-Tilib et al. 2004).

En San Carlos, no hubo diferencias en el aumento de P en las tres frecuencias de aplicación variando entre 13.3 y 28.9 ppm; mientras que, en ECUDOS la mayor disponibilidad de P (17.4 ppm), se observó cuando se aplica anualmente el P, en la aplicación pasando un año solo se obtuvo 14.6 y en caña planta 10.7 ppm de P en el suelo. En Valdez, no hubo diferencia entre la aplicación anual y pasando un año, con una concentración entre 17 y 34 ppm de P. Sin embargo, cuando se fertiliza en caña planta la disponibilidad de P fue menor entre 17 y 28.4 ppm (Figura 1). Claramente se puede deducir que los suelos de los ingenios San Carlos y Valdez tienen baja retención de P y por lo tanto su disponibilidad es mayor, y requerirá menor cantidad de fertilizante fosfatado, comparados con el suelo del ingenio ECUDOS.

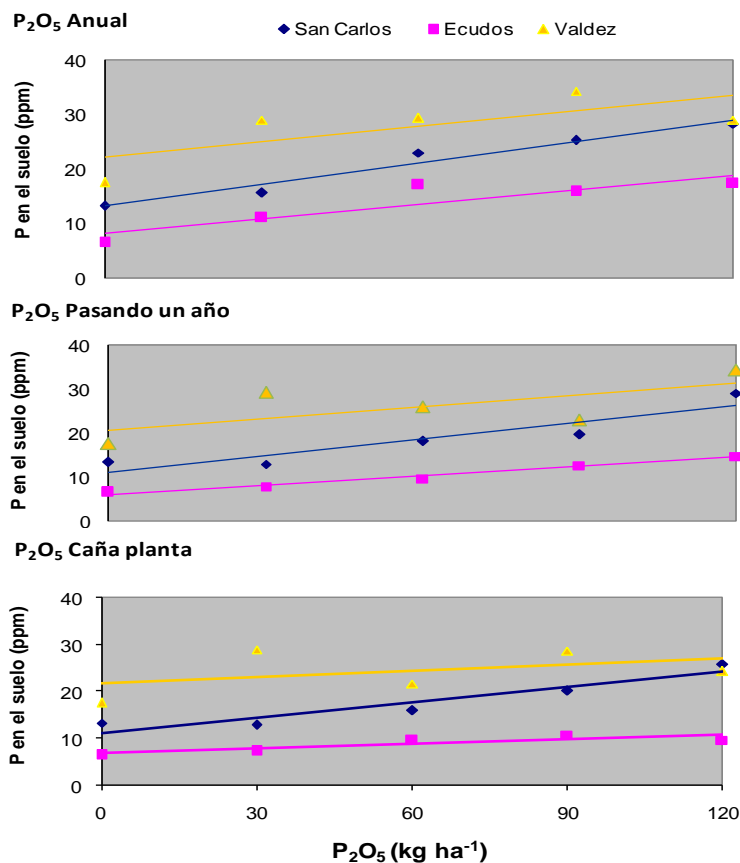


Figura 1. Relación entre el contenido de P en el suelo y la aplicación de P_2O_5 , bajo tres frecuencias de aplicación: a) Anual, b) Pasando un año y, c) Caña planta; en tres localidades, promedio de cuatro años. 2008

En las tres localidades cuando el P_2O_5 se aplicó en caña planta, el fósforo disponible fue menor comparado con las otras dos frecuencias de aplicación, esto puede ser debido a la absorción del cultivo, y/o retención de P por los hidróxidos de Fe^{3+} y Al^{3+} , o por la adsorción de partículas de arcilla, especialmente en el Ingenio ECUDOS (El-Tilib et al. 2004).

Cuadro 1. Respuesta de tres familias de suelos a tres frecuencias de aplicación de P₂O₅, en tres localidades, evaluados por cuatro años. 2008

Suelo	Año	Anual	Pasando un año	Caña Planta
ECUDOS				
Eficiencia (kg de P ₂ O ₅ para incrementar 1 ppm de P en el suelo)				
Vertic Tropaquep (Ruidoso), franco arenoso	Año 1 (Caña planta)	33.4	27.9	39.2
	Año 2 (1er soca)	17.0	36.1	29.8
	Año 3 (2da soca)	3.3	7.7	15.1
	Año 4 (3er soca)	5.7	6.1	13.8
San Carlos				
	Año	Anual	Pasando un año	Caña Planta
Typic Haplustept (B1), franco	Año 1 (Caña planta)	6.2	4.9	6.2
	Año 2 (1er soca)	11.0	9.2	9.4
	Año 3 (2da soca)	5.6	6.6	8.4
	Año 4 (3er soca)	6.9	5.7	6.3
Valdez				
	Año	Anual	Pasando un año	Caña Planta
Vertic Haplustept (Cruz Armijos), franco arenoso	Año 1 (Caña planta)	5.2	4.5	4.5
	Año 2 (1er soca)	5.3	6.3	6.2
	Año 3 (2da soca)	5.3	9.0	9.0

ECUDOS: R²= mayor 0.7; San Carlos: R²= mayor 0.8; Valdez: R²= 0.5 - 0.6

La información del Cuadro 1, muestra la cantidad de P₂O₅ que debe aplicarse para tener un incremento en 1 unidad de P (ppm) en el suelo, detectándose mayor eficiencia en la localidad de ECUDOS, especialmente en los años 1 y 2 (27.9 y 36.1 ppm, respectivamente). Es decir, que se requiere mayor cantidad de fertilizante fosfatado para incrementar la cantidad de P en la solución del suelo. El suelo de esta localidad presentó el menor contenido de P en el suelo, y un pH de 5.5, lo que probablemente, fija mayor P en forma de compuestos insolubles como los óxidos de Fe y Al (McLaren y Cameron. 1996). En cambio, en San Carlos y Valdez, en los cuatro años de estudio y en las frecuencias de aplicación la cantidad de P₂O₅ a aplicarse es pequeña (entre 5 a 11 kg ha⁻¹), por lo que se considera, que son suelos con baja retención de P y baja capacidad buffer de P (McLaren y Cameron, 1996).

En general, se observa que cuando se aplica anualmente el P₂O₅, el P disponible en el suelo incrementa y por lo tanto el uso del fertilizante fosfatado disminuirá. Esto, debido posiblemente a la saturación de P en los espacios de adsorción de las arcillas por el P proveniente del fertilizante, las partículas de MO y los hidróxidos de Fe y Al, que ayudan a que las reservas de este elemento sean mayor, el cual puede ser liberado por dos vías, la primera cuando el P de la solución del suelo disminuye y la segunda por reacciones químicas ocurridas en este.

Mientras que, cuando se deja de aplicar fertilizante pasando un año o solamente en caña planta la aplicación de P₂O₅ aumenta y la disponibilidad de P en el suelo disminuye, posiblemente por la extracción realizada por el cultivo y prácticas de manejo del mismo y la no reposición de este elemento a través del fertilizante o enmiendas orgánicas.

3.2.- Estimación de la respuesta de producción de azúcar a la aplicación de P_2O_5 al suelo

A pesar de detectarse incrementos de P en la solución del suelo cuando se aplica el fertilizante fosfatado, no se detectó diferencias significativas en la producción de azúcar, en las tres localidades. La Figura 2 muestra que, aunque la producción de azúcar en TAH fue diferente a través del tiempo, no hubo respuestas significativas a la aplicación de niveles crecientes de P_2O_5 . Esto debido a que cada tipo de suelo responde en forma diferente a la fertilización, ya sea por factores de manejo, historia del lote y condiciones climáticas. En el ingenio Valdez, el testigo y nivel de 30 kg ha⁻¹ presentaron mayor tonelaje de azúcar; en San Carlos fueron 30 y 60 kg ha⁻¹; y, en ECUDOS con 60 y 90 kg ha⁻¹ de P_2O_5 .

Similar respuesta presentó un estudio realizado en Sudán donde aplicaciones de 29 y 59 kg ha⁻¹ de P_2O_5 produjeron el más alto tonelaje de caña en suelos del orden Vertisol, Alfisol e Inceptisol. Mientras que, en el rendimiento de azúcar no hubo respuesta a los niveles de P_2O_5 aplicados (El-Tilib et al. 2004). En Guatemala, en cambio en suelo Andisoles con alta retención y bajos contenidos de P se detectó que dosis de 50 y 100 kg de P_2O_5 permitieron obtener el más alto tonelaje de caña. Además, dependiendo del tipo de suelo y dosis altas (300 kg ha⁻¹) de P_2O_5 mostraron efecto de residualidad del P, especialmente en suelos ácidos, con un incremento promedio de 7.1 TCH en dos socas (Perez et al. 2005).

Las frecuencias de aplicación del fertilizante fosfatado tuvieron diferentes efectos en las localidades. Así, en Valdez, el tratamiento sin aplicar P_2O_5 mantuvo el mismo nivel de producción de azúcar que las tres frecuencias de aplicación en los tres primeros años de estudio, a excepción del año 2007 que se incrementó en 1.3 TAH, sugiriendo que el P del suelo en este sitio es suficiente para la producción de caña. En San Carlos, la aplicación de P_2O_5 pasando un año (aplicaciones en 2004 y 2006) permitió obtener un mayor incremento en el 2005 y 2007 de 0.23 y 0.93 TAH, respectivamente. Mientras que, en ECUDOS hubo un aumento de 1.58 TAH en el 2007. Este incremento, pudo deberse al P residual proveniente del fertilizante aplicado (Cuadro 2). La aplicación de P_2O_5 solamente en caña planta presentó similar tonelaje de azúcar que el tratamiento testigo en los tres ingenios.

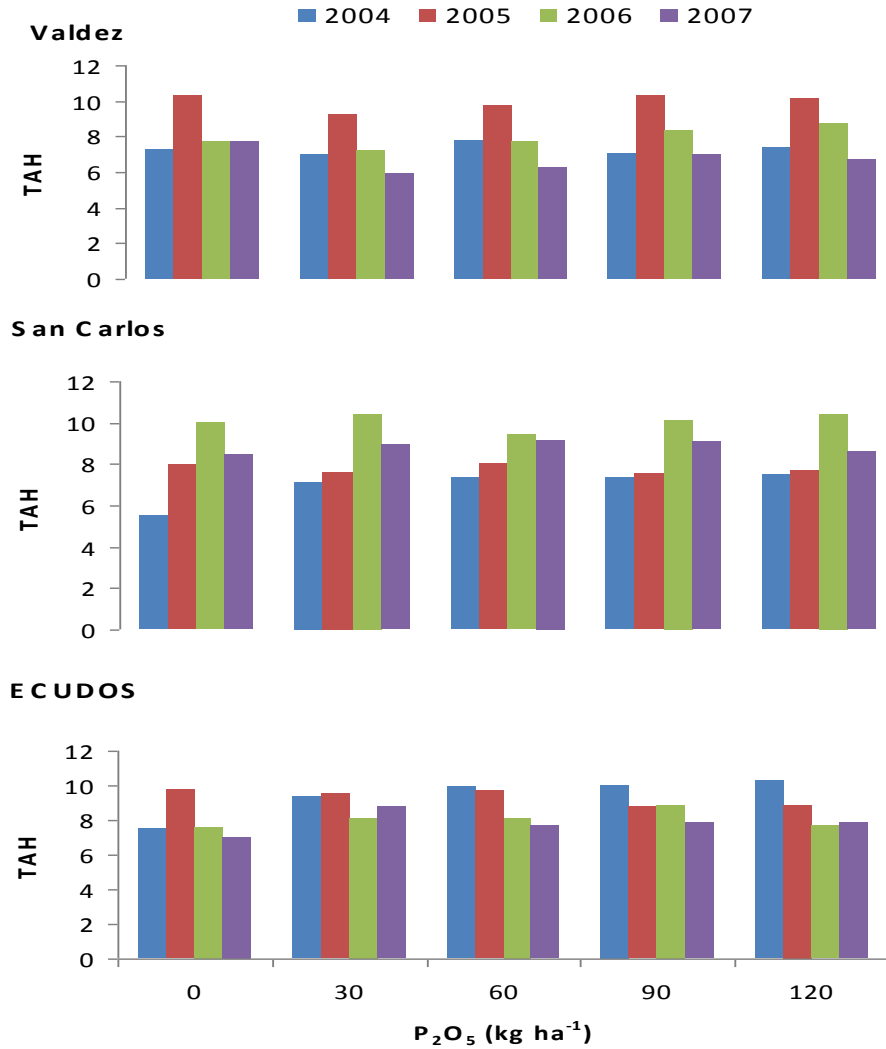


Figura 2. Toneladas de azúcar por hectárea (TAH) de cinco niveles de aplicación de P₂O₅, evaluados por cuatro años; en tres localidades. 2008

Pérez et al. (2007) manifiesta que la aplicación fraccionada de 80 y 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ en caña planta y soca, en relación a una aplicación total de 120 kg ha⁻¹ P₂O₅ a la siembra en suelos Andisoles permitió un incremento de 15 TCH. El-Tilib et al. (2004), cita que la concentración de azúcar no incrementó significativamente con la fertilización fosfatada en caña planta, pero si fue significativa en caña soca, demostrando la importancia de mantener adecuadamente los niveles de P en el suelo cada año.

Cuadro 2. Toneladas de azúcar por hectárea (TAH) de tres frecuencias de aplicación de P₂O₅, en tres localidades, evaluada por cuatro años. 2008

Valdez				
P ₂ O ₅ aplicado	2004	2005	2006	2007
TAH				
0	7.31	10.27	7.69	7.71
Anual	6.68	10.02	7.96	6.73
Pasando 1 año	7.57	10.00	7.32	6.09
Caña planta	7.64	9.48	8.72	6.52
San Carlos				
0	5.49	7.98	9.98	8.41
Anual	7.29	7.42	9.16	8.73
Pasando 1 año	7.42	8.26	10.70	9.34
Caña planta	7.21	7.45	10.41	8.76
ECUDOS				
0	7.52	9.75	7.61	7.04
Anual	9.82	9.09	8.42	7.74
Pasando 1 año	9.90	9.38	8.24	8.62
Caña planta	9.86	9.08	7.80	7.65

Con el objeto de determinar si las respuestas de las frecuencias de aplicación y niveles de P₂O₅ entre sitio fueron diferentes, se expresó el rendimiento de cada uno de ellos como porcentaje relativo de producción, relacionando el tonelaje de azúcar por hectárea (TAH) de cada nivel al máximo nivel de producción, a través de la siguiente ecuación:

$$PR (\%) = (Y_{\text{nivel}}/Y_{\text{max}}) * 100; \text{ donde}$$

PR= Producción relativa

Y_{nivel}= Producción de azúcar de cada nivel en estudio

Y_{max}= Máxima producción de azúcar por hectárea

La producción relativa en porcentaje se relacionó con el contenido de P en el suelo (ppm) porque permite determinar la respuesta de producción que se puede obtener a un determinado nivel de P del suelo y consecuentemente la cantidad de P₂O₅ que podría aplicarse para obtener una producción esperada.

La amplia dispersión de los resultados no permitió obtener relaciones significativas entre la producción relativa (%) y los niveles de P en el suelo. En las tres localidades se obtuvieron producciones entre 70 y 100 % desde niveles bajos hasta altos de P en el suelo. Tanto que, en Valdez y San Carlos la máxima producción relativa (%) se obtuvo desde 10 hasta 40 ppm de P; mientras que, en ECUDOS estuvo entre 6 y 20 ppm de P en el suelo (Figura 3).

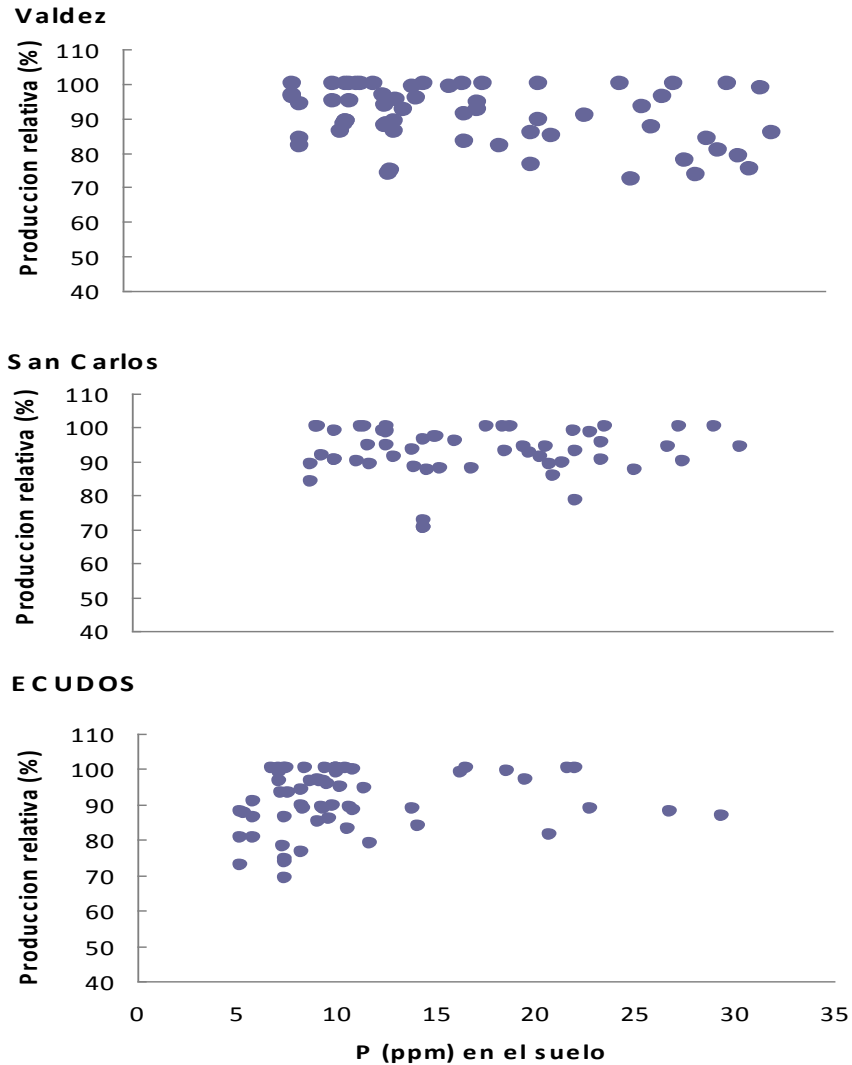


Figura 3. Relación entre el contenido de P en el suelo y la producción relativa (%), evaluados por cuatro años; en tres localidades. 2008

Las respuestas similares obtenidas con la relación del contenido de P en el suelo y la producción relativa (%) de azúcar en las tres localidades a las diferentes frecuencias de aplicación del P, permitió hacer una grafica general. A pesar que la función no fue significativa, el nivel óptimo de P se estableció donde las máximas producciones fueron alcanzadas. Por lo tanto, se consideró que menos de 7 ppm de P en el suelo es bajo, entre 7 y 12 ppm el P es óptimo y mayor a 12 ppm de P es alto y por lo tanto no se requerirá fertilización fosfatada. La información obtenida permitiría realizar fertilización de corrección de P cuando un suelo tiene menos de 7 ppm de P (figura 4)

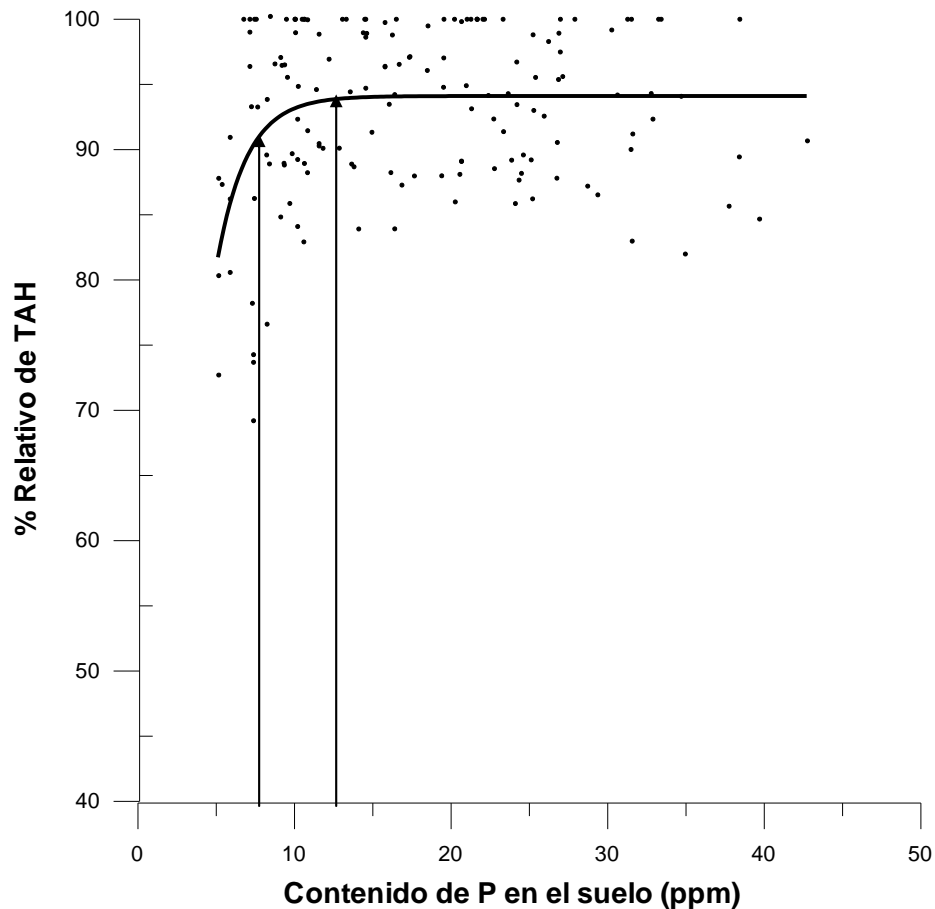


Figura 4. Relación entre el contenido de P en el suelo y producción relativa (%), de los sitios en estudio. 2008

Estudios llevados a cabo por CENGICAÑA en veinte tipos de suelos correspondientes a los ordenes Andisol, Inceptisol, Mollisol y Entisol de la región cañera de Guatemala, determinaron niveles críticos de P usando el método Mehlich 1. Se consideró que suelos con < 10 ppm de P son deficientes de P; entre 10 y 30 ppm de P es medio u óptimo y mayor 30 ppm de P son altos (Perez et al. 2003)

Investigaciones realizadas por CENICAÑA, en el valle geográfico del río Cauca, estableció niveles críticos de P disponible en el suelo, determinados por el método Bray 2, estableciéndose que niveles de < 5 ppm de P es bajo, entre 5 y 10 ppm es medio u óptimo y > 10 ppm es alto. En suelos mayores a 10 ppm de P disponible no se justifica la aplicación de este nutriente (Cassalett et al. 1995).

3.3.- Estimación de la pérdida de P en el suelo a través de sucesivas cosechas de caña.

Una de las respuestas esperadas de la no aplicación del fertilizante químico fue la disminución de la concentración de P en el suelo, detectándose que en los tres tipos de suelos el P se redujo a través del tiempo debido a la extracción realizada por el cultivo. Se obtuvo una alta relación entre el P (ppm) del suelo y los años ($R^2 =$ mayor a 0.7). Se puede predecir que por cada año que no se aplique fertilizante fosfatado se perderá 2.0 y 1.44 ppm de P en ECUDOS y San Carlos, respectivamente. Mientras que, en el ingenio Valdez, a pesar que la relación fue baja, se podría considerar que hay una pérdida anual de 0.68 ppm de P (Figura 5)

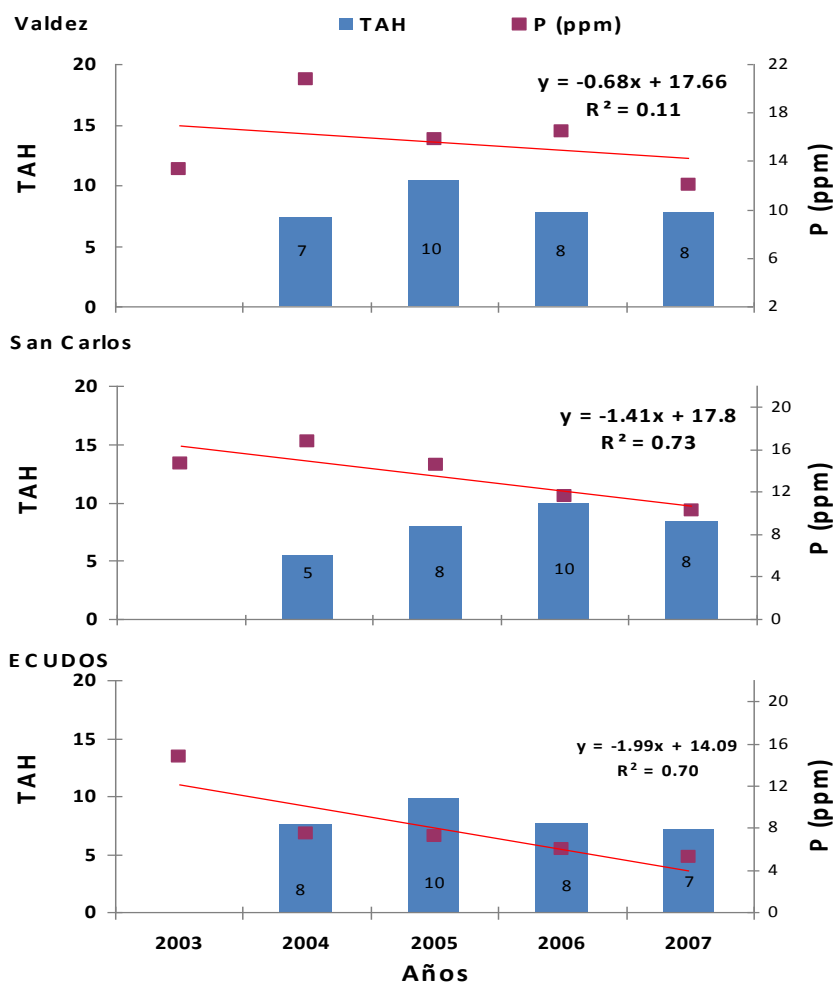


Figura 5. Relación entre el contenido de P en el suelo, producción de azúcar (TAH) a través de los años cuando no se aplica fertilizante fosfatado, en las tres localidades. 2008

En la misma Figura 5, se mostró que a pesar de existir una disminución en la concentración de P en los tres tipos de suelo, esto no influyó en la producción de azúcar por hectárea, detectándose que en el año 2005 (ECUDOS y Valdez) y 2006 (San Carlos), las producciones fueron las más altas. Probablemente, las condiciones climáticas influyeron

para obtener estas respuestas. En general, según varios autores (Vander Honer citado por Dillewijn, 1952), plantean que la poca respuesta de la caña de azúcar a la fertilización con P se debe a la capacidad de este cultivo para extraer hasta 15 y 20 % del fosfato contenido en soluciones tan diluidas como 0.03 a 0.05 mg/l.

4.- Conclusiones

Por la alta relación obtenida entre el P_2O_5 aplicado y la concentración de P en el suelo ($R^2=$ mayor a 0.7) se puede determinar la cantidad de P que debe añadirse a un suelo de determinada textura o familia para llegar al nivel de óptimo de P del suelo y por lo tanto valorar el costo de llegar a los niveles deseados de producción de caña, cuando se desee hacer la corrección de P.

En San Carlos, no hubo diferencias en el aumento de P en las tres frecuencias de aplicación (13.3 y 28.9 ppm); mientras que, en ECUDOS la máxima concentración se obtuvo en la aplicación anual (17 ppm de P) y en Valdez estuvo entre 17 y 34 ppm de P en las aplicaciones anuales y pasando un año. En estas localidades, cuando se fertiliza en caña planta la disponibilidad de P es menor que las otras frecuencias

En el ingenio Valdez el testigo y 30 kg ha⁻¹ presentó un mayor tonelaje de azúcar; en San Carlos fueron 30 y 60 kg ha⁻¹; y en ECUDOS 60 y 90 kg ha⁻¹. No se detectó un efecto de las frecuencias de aplicación en el ingenio Valdez; mientras que, en la aplicación de P_2O_5 pasando un año permitió obtener un incremento de 0.23 TAH en el 2005 en San Carlos; y, en el 2007 aumentó 0.93 y 1.58 TAH en San Carlos y ECUDOS, respectivamente.

La máxima producción relativa (95 %) en las tres localidades se determinó entre 7 y 12 ppm de P en el suelo, menor y mayor concentración a este rango, se debería corregir o dejar de aplicar el fertilizante fosfatado.

Se detectó una disminución de P en el suelo cuando no se aplicó el fertilizante fosforado, ($R^2=$ mayor a 0.7), detectándose una pérdida de 2.0, 1.44 y 0.68 ppm de P en ECUDOS, San Carlos y Valdez, respectivamente.

5.- Literatura citada

ARZOLA N, MARÍN R, CERVERA G, ARCIA J, VINAS Y, ZUAZNABAR R, MATOS J, CUESTA M. 2007. Informe del estudio detallado de suelos con fines agrícolas. Ingenio ECUDOS. P. 1-82

CASSALETT C, TORRES J, ISAACS C. 1995. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA). Cali, Colombia. p.158-160

CINCAE (Centro de Investigación de la Caña de Azúcar del Ecuador). 2007. Manual de Laboratorio Químico. 79 p

DILLEWIJN, C. VAN. Botany of Sugarcane, Chronica Botanica, Waltham Mass., 1952. 371 p

EL-TILIB MB, ELNASIKH MH, ELAMIN EA. 2004. Phosphorus and Potassium fertilization effects on growth attributes and yield of two sugarcane varieties grown on three soil series. *Journal of Plant Nutrition* 27 (4): 663-699

MCLAREN RG Y CAMERON KC. 1996. Soil Science. Sustainable production and environmental protection. Oxford University Press. p. 238- 247

PÉREZ O, MELGAR M, LAZCAÑO I. 2003. Phosphorus fertilization and phosphorus-extraction method calibration for sugarcane soil. *Better Crops International* 17(2): 26-29

PÉREZ O, HERNÁNDEZ F, RALDA G, CHAJIL E. 2005. Fraccionamiento y efectos residuales de fósforo en suelos andisoles superficiales y evaluación de la roca fosfórica. In Memoria. Presentación de resultados de investigación zafra 2004-2005. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). p 103-110

PÉREZ O, LÓPEZ A, HERNÁNDEZ F, CHAJIL E. 2007. Efecto del fraccionamiento del fertilizante fosforado en el cultivo de caña de azúcar en suelos andisoles. In Memoria. Presentación de resultados de investigación zafra 2006-2007. Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). p. 143-146

SPAANS E, GONZÁLEZ DF, HERNÁNDEZ CA, QUEZADA SR. 2007. Informe del Levantamiento de suelos del Ingenio San Carlos. p. 5-130

VALAREZO C, INIGUEZ M, VALAREZO JI, MUÑOZ F, VALAREZO L, VERA A. 2007. Informe del Estudio. Estudio Detallado de suelos con fines agrícolas. CI. Azucarera Valdez. p. 1-179

