

BALANCE DE NUTRIENTES Y RECOMENDACIÓN DE FERTILIZANTES Y ENCALADO EN CAÑA DE AZÚCAR POR MODELAJE

Fernando José Freire¹, Fábio Cesar da Silva^{2,3}, Victor Hugo Alvarez Venegas⁴; Gael Silvia Peñaranda Liendo da Silva⁵, Felipe Silveira^{2,3}.

¹Fundación Joaquin Nabuco e Universidad Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomía, Área de Suelos.- Brasil. f.freire@depa.ufrpe.br;

²Embrapa Informática Agropecuária – Campinas- SP- Brasil, fabio.silva@embrapa.br;

³Fatec Piracicaba - Brazil. felipe.sfdc@gmail.com,

⁴UFV, Dep. de Solos, Viçosa, MG - Brasil. hruiz@mail.ufv.br

⁵Master de la Universidad Estatal de Campinas - UNICAMP/FEQ , Campinas, SP - Brasil gadelein@yahoo.es

Abstract. The structuring of the information needed to model the demand for certain nutrients expected productivity allows to develop a system for calculating the Nutritional Balance and Recommendation of lime and fertilizers for the cultivation of sugarcane. The balance between what you will need (requirement of the plant) and what can be made available (supply ground) is the basis for development methodology of system. The calculation of nutrient balance will indicate the need, or not, the application of lime and fertilizers.

Key-woks: nutrient balance, liming, fertilization.

Resumen. Disponer de información necesaria para modelar la demanda de nutrientes para determinada productividad, que permita el desarrollo de un sistema para el cálculo del balance nutricional y la recomendación de cal y fertilizantes para el cultivo de la caña de azúcar. El equilibrio entre lo que se exige (demanda de la planta), y lo que puede estar disponible (provisión de la tierra) es la base para el desarrollo del sistema. El cálculo de balance de nutrientes indicará la necesidad, o, no, de la aplicación de cal y fertilizantes.

Clave-taller: equilibrio de nutrientes, encalado, fertilización.

1. INTRODUCCIÓN

Las recomendaciones de adubación practicadas en el Brasil se basan, esencialmente, en curvas de respuesta, en las que los nutrientes son aplicados en dosis crecientes y sus efectos observados en el incremento de la productividad de la cultura, siendo tales calibraciones regionalizadas y para determinados tipos de suelos. Tales métodos de investigación generan tablas de recomendación que, con razonable acierto en sus indicaciones, presentan evidente empirismo o subjetivismo en su constitución.

Así, una simple comparación entre tablas de diferentes estados brasileños muestran diferentes recomendaciones para condiciones semejantes de suelo y de cultivo, y la misma recomendación para diferentes suelos, o sea, no son adecuadas por desconsiderar tales factores. Particularmente, en el caso de la cultura da caña-de-azúcar, en que los fertilizantes son responsables por 20 a 25 % del costo de producción, las tablas presentan mucha variación en las recomendaciones, tanto para caña planta como para caña soca, lo que coloca a caña-de-azúcar como consumidora de 16,3 % de fertilizantes en el Brasil (Ramos, 1999; Embrapa, 2009).

Es necesario el desenvolvimiento de un modelo menos empírico que permita diferenciar la necesidad de la cultura, de acuerdo con la productividad deseada y el potencial de fornecimiento del suelo, de tal forma que la adición de nutrientes sea oriunda fundamentalmente del balance nutricional.

El conocimiento de ese balance permitirá ajustes para la obtención de recomendaciones más adecuadas, pudiendo, inclusive, llegara una reducción en la cantidad de fertilizantes a utilizar, o también pudiendo especificar la falta de nutrientes. El ajuste de modelos predictivos de alcance más generalizado puede tornarse una herramienta eficaz para recomendaciones más criterios as de fertilizantes para la cultura da caña-de-azúcar en el Brasil.

Por otro lado, las recomendaciones de correctivos y fertilizantes deben ser monitoreadas con criterio por un buen programa de nutrición, por medio del diagnóstico foliar, evaluando la probabilidad de respuesta para estas recomendaciones obtenidas de una metodología propuesta en el sistema aquí propuesto, sean basadas en las tablas de recomendación de los Estados. Eso ayuda al productor de caña-de-azúcar básicamente de dos maneras: primero le permite acompañar la capacidad nutricional de las recomendaciones de correctivos y fertilizantes que están siendo practicadas en su cañaveral; segundo, todavíale posibilita a la información agronómica del cual es el potencial de respuesta para aquella recomendación, sugiriendo, inclusive, la toma de decisión para ejecución completa o fraccionada de la recomendación propuesta.

Así, este trabajo es presentado un sistema que tiene como objetivos sistematizar informaciones de características físicas, químicas e físico-químicas de los principales suelos cultivados con caña-de-azúcar en el Brasil para simular

sus efectos en el balance nutricional y en la productividad de la caña-de-azúcar; desarrollando un modelo para fines del sistema informático y para el cálculo del balance nutricional así como para la recomendación de correctivos y fertilizantes en la cultura .

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La lógica del sistema de cálculo se basa en la diferenciación de la necesidad de la cultura, de acuerdo con la productividad deseada y el potencial de fornecimiento del suelo, de tal forma que la adición de nutrientes sea oriunda fundamentalmente del balance nutricional (Figura 1).

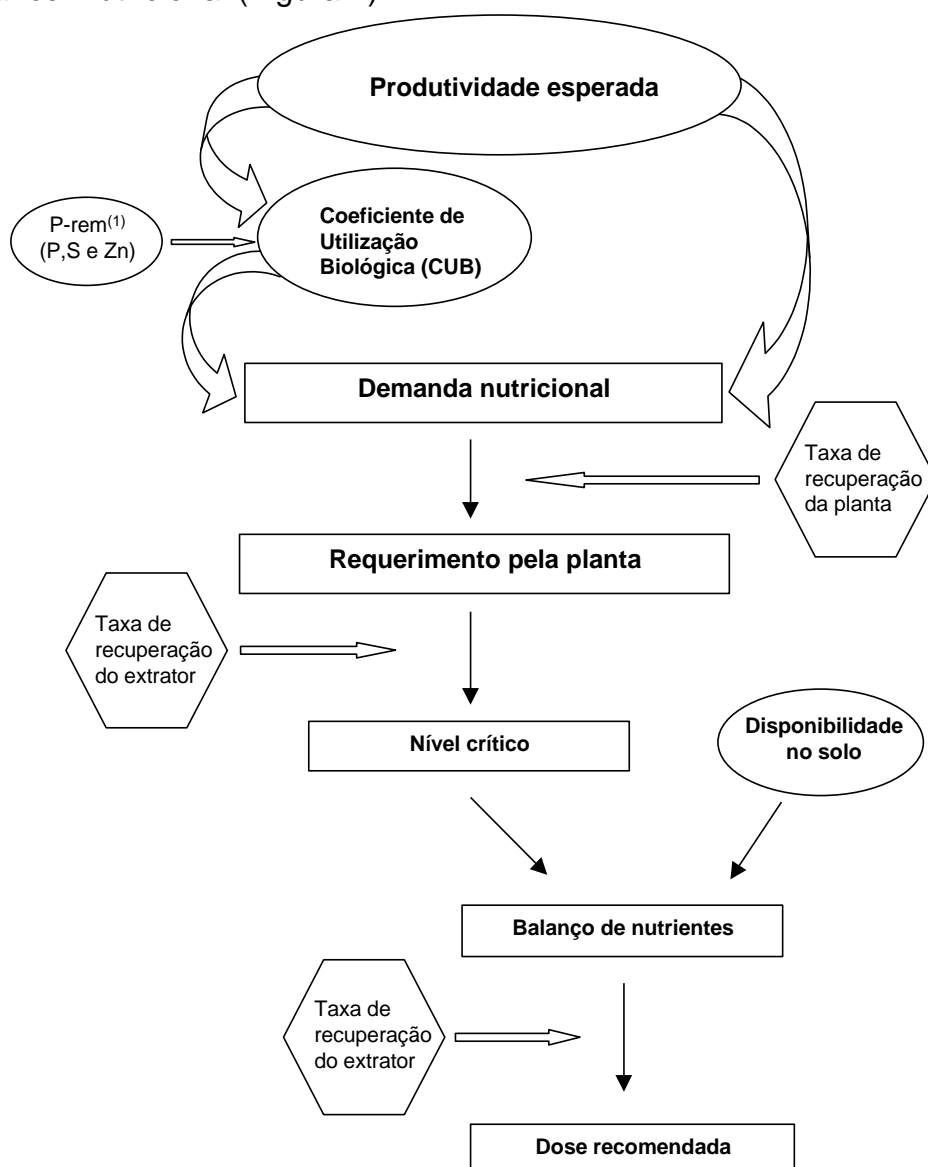


Figura 1. Lógica del sistema de recomendación de fertilización y cal en la caña-de-azúcar.

2.1. Calibraciones del CUB

El CUB es el coeficiente de utilización biológica, y a través de este podemos calcular la eficiencia nutricional de la planta, es la primera variable calculada hasta llegar a la recomendación final. Para llegar hasta el valor del CUB es necesario saber cuánto de nutriente la planta absorbió de la cantidad aplicada en relación a su productividad (TCH). (MENDES, 2006) Con ejemplos basados en la exportación por los tallos de caña-de-azúcar se tiene en la Figura 2 y en la Tabla 2, la calibración del CUB de macro nutrientes en la caña-planta. Todavía, la calibración puede ser realizada por la composición de las hojas +3 a los 4 meses en relación a la productividad. Un ejemplo para Usina Coruripe (Alagoas) formando un banco de datos de Productividad $f(\text{tenor de nutriente})$ para establecimiento de Normas DRIS para caña-de-azúcar. (Figura 3)

2.2. DESENVOLVIMIENTO DE LA METODOLOGIA

2.2. Subsistema Planta

Para la cultura de la caña de azúcar tenemos varios factores que pueden interferir en su productividad y consecuentemente generar lucro o perjuicio económico, estos factores deben ser cuantificados para obtener una simulación más próxima a la realidad.

2.2.1. Requerimiento de Nutrientes por la Planta

Para obtener la cantidad exigida de nutrientes por la caña, deben ser considerados e calculados los factores abajo:

- CUB (Coeficiente de utilización biológica)

A través do CUB pode-se calcular a eficiência nutricional de la planta, que puede ser expressa por kg de matéria seca produzida por kg de nutriente acumulado.

- P-rem (fósforo remanescente)

Para este modelo se adopto la relación entre o P-rem y tenor de arcilla, pero se aplica apenas para P, S e Zn (Figura 7).

- Tasa de recuperación de la planta

A partir de la tasa de recuperación es la cantidad de nutriente la planta consigue recuperar en relación a la cantidad aplicada. A través de la tasa de recuperación puede ser calculada dosis que deben ser adicionadas al suelo, para satisfacer la demanda nutricional de la planta.

- Demanda nutricional

La demanda nutricional (D) puede ser expresada por la razón entre PDE (productividad esperada) e CUB (coeficiente de utilización biológica). Demanda nutricional es la cantidad de nutrientes necesarias para la formación de la planta, en el caso de la caña la formación de tallos, hojas e raíces. A través de las ecuaciones generadas podemos establecer la cantidad requerida de cada nutriente.

2.3. Cantidad de Nutriente para Sustentabilidad del Suelo

Se sugiere que las dosis recomendables de nutrientes para satisfacer la demanda de determinadas productividades, sean incrementadas de dosis suplementarias que proporcionen sustentabilidad al cultivo, de forma que evite una gradual terminación del suelo. Las dosis recomendadas son también cualificadas, tenemos que la cantidad de mandada para determinada productividad es igual a la dosis suplementar, o sea, la misma cantidad de nutriente extraído del suelo debe ser repuesto para que el cultivo sea sustentable. En la Tabla 1, se tiene modelando la demanda por fósforo en función de la productividad y del poder tampón del fosfato del suelo.

2.3.1. Subsistema Suelo

El subsistema suelo es estructurado por los componentes abajo:

- Tasa de recuperación del extractor

La tasa de recuperación del extractor es fundamental para la credibilidad del análisis del suelo, pues tiene como función conocer el extractor y la razón suelo/extractor, sea la solución de Mehlich-1 o la resina trocadora de iones (Figura 6), pueden recuperar del nutriente en el análisis del suelo en función con la cantidad del nutriente aplicado. El efecto residual (ER) del P extraído por la solución de Mehlich-1 o la resina trocadora de iones fueron:

$$(1) \text{ Mehlich-1: } ER = \{[0,05 + 0,0058 (P\text{-rem})] D\} e^{-[0,000513637 + 0,0000284091^{**}(P\text{-rem})] t}$$

$$(2) \text{ Resina: } ER = [0,3572 D] e^{-kt} .$$

Donde,

D: es la dose de P recomendada para ser aplicada en el área total en caña planta o soca (kg ha⁻¹);

t : es el tiempo recorrido de la aplicación de la dosis del fertilizante hasta el inicio de la rebrota subsecuente (días);

k : es la constante de pérdida o disminución del P disponible por el extractor.

- Nivel crítico

Nivel crítico de determinado nutriente equivale a una mínima concentración necesaria para alcanzar el crecimiento máximo o para el máximo porcentual de azúcar en el caso de caña de azúcar, por tanto este nivel se torna variable entre planta y suelos y entre plantas y suelo, también sobre la influencia de los tratos culturales realizados, como: a cal, cantidad de nutrientes aplicados, entre otros.

- Disponibilidad en el suelo

Para obtener la disponibilidad de un determinado nutriente en el suelo es necesario el análisis del suelo utilizando un extractor, para este modelo se adoptó como extractor o Mehlich-1 y Resina Mixta. Para el caso de P, S e Zn disponible en soluciones extractoras ácidas deben ser considerada la capacidad tampón de los fosfatos en el suelo (P-reminiscente), como utilizado en el Estado de Minas Gerais (Silva, 2009). Note en la Figura 7, el relacionamiento entre cantidad y calidad de las arcillas en la disponibilidad de P en los suelos.

- Balance de nutrientes

Tales componentes son indispensables para los cálculos y a través de éstos podemos diferenciar y adecuar el sistema más preciso de acuerdo con el suelo.

2.3.2. Nutriente Fornecido por el Suelo

A forma de manejo do solo é essencial para a disponibilidade dos nutrientes, também deve se levar em conta os fatores climáticos como intensidade de chuvas, temperatura, etc.

Para obter os dados de solo, utilizam-se os dados de análises de solo, tais dados são considerados subsídios básicos para a realização do balanço nutricional da cultura.

3. APLICACIÓN DEL MODELO EN EL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN

3.1. Recomendación del Encalado

Para se estimar a recomendación de la necesidad de cal tenemos tres métodos más utilizados:

- **Saturación por bases**, consiste en la elevación de la saturación de bases intercambiables para un valor que proporcione el máximo rendimiento económico del uso de la cal.

El cálculo de la necesidad de cal (NC) es hecho a través de la siguiente fórmula:

$$\text{NC (t.ha}^{-1}\text{)} = \frac{(V_2 - V_1) \times T \times f}{100}$$

en que:

V_1 = valor da saturación de las bases intercambiables del suelo, en porcentaje, antes de la corrección. ($V_1 = 100 S/T$) siendo:

$S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ (cmolc.dm⁻³);

V_2 = Valor da saturación de bases intercambiables que se desea;

T = capacidad de cambio de cationes, $T = S + (\text{H} + \text{Al}^{3+})$ (cmolc.dm⁻³);

f = factor de corrección del PRNT de la cal $f = 100/\text{PRNT}$.

Cuando el potasio es expresado en mg.dm⁻³, en el análisis del suelo, hay necesidad de transformar para cmolc.dm⁻³ por la fórmula:

cmolc.dm⁻³ de K = (0,0026) mg.dm⁻³ de K

A saturação de bases é variável para cada estado ou região, variando de 50 a 60%.

- Neutralización del aluminio intercambiable o de la elevación de los tenores de Ca e Mg trocable. Tal método es, particularmente, adecuado para los suelos sobre la vegetación de Cerrados, en los cuales ambos efectos son importantes. El cálculo de la necesidad de cal(NC) es hecho a través de la siguiente formula:

$$\text{NC (t.ha}^{-1}\text{)} = \text{Al}^{3+} \times 2 + [2 - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})] (\text{PRNT} = 100\%)$$

- Método SBNR-C

Para este sistema se utilizo el método SBNR-C, que lleva en consideración el pH y la capacidad tampón del suelo.

3.2. Recomendación de Fertilización

La fertilización es uno de los factores que determinan la productividad y costos, por eso se simula las cantidades de nutrientes necesarias. Primeramente recomendamos la cal (Ca e Mg), después los macro nutrientes (K, P, N e S) y por último los micro nutrientes (B, Cu e Zn).

4. Referencias Bibliográficas

- EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF:Embrapa Informação Tecnológica,2009. 627 p.
- FERNANDES, M. B.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A.C. (2007). “Níveis críticos de enxofre em solos de Pernambuco”. Revista Caatinga, Mossoro, v.20, n.3, p.93-103, jul./set. 2007.
- FREIRE, F, J. “Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar”. Tese (Doutorado em Ciência do solo)- Universidade Federal de Viçosa. 2001
- MENDES, L, C (2006). “Eficiência nutricional nos cultivares de cana-de-açúcar”, http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/18/TDE-2006-12-13T150312Z-160/Publico/texto%20completo.pdf, Viçosa, Setembro.
- RAMOS, P. (1999). “Situação atual, problemas e perspectivas da agroindústria canavieira de São Paulo”. Informações econômicas, 29:9-24.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F, L, F. “Nutrição e Adubação da Cana de Açúcar: indagações e reflexões”, [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AD1D0D574326386683257AA1006BC3D8/\\$FILE/Enc6-11-110.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/AD1D0D574326386683257AA1006BC3D8/$FILE/Enc6-11-110.pdf), Encarte Informações Agrônômicas, nº 110, Junho. (2005).
- SILVA, C, R. E SOUZA, Z, M. “Eficiência do uso de nutrientes em solos ácidos: manejo de nutrientes e uso pelas plantas”, <http://www.agr.feis.unesp.br/acido.htm>, Ilha Solteira, Abril. 1998.

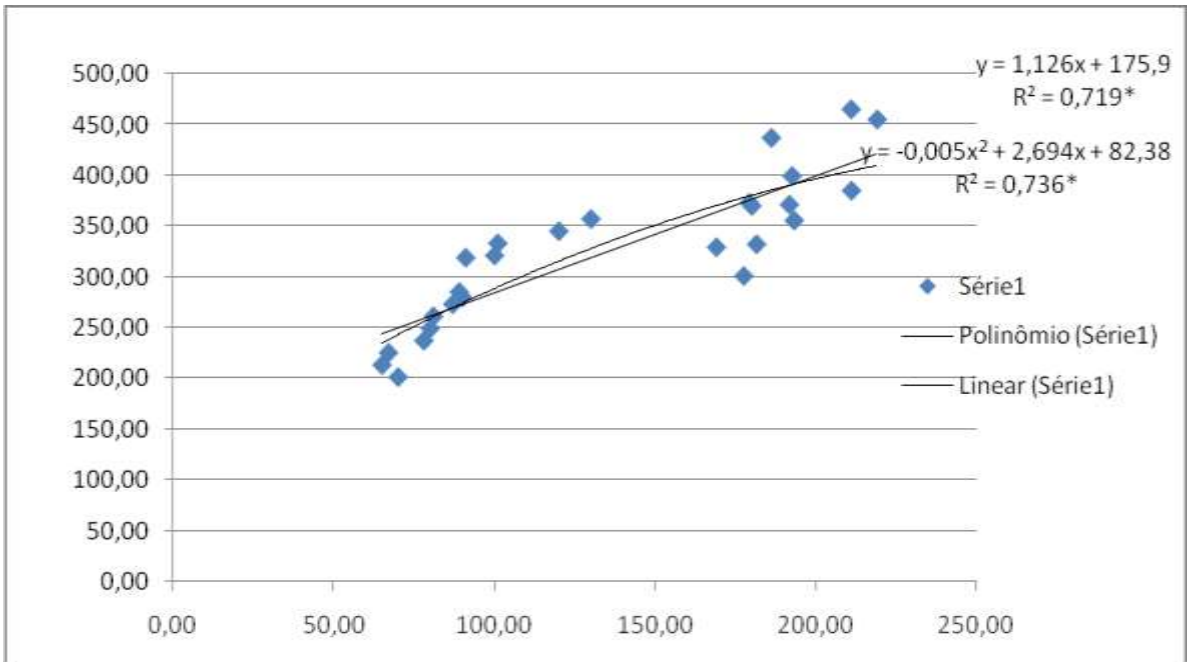


Figura 2. Relación entre exportación de potasio (kg/ha) y la productividad de tallos (TCH)

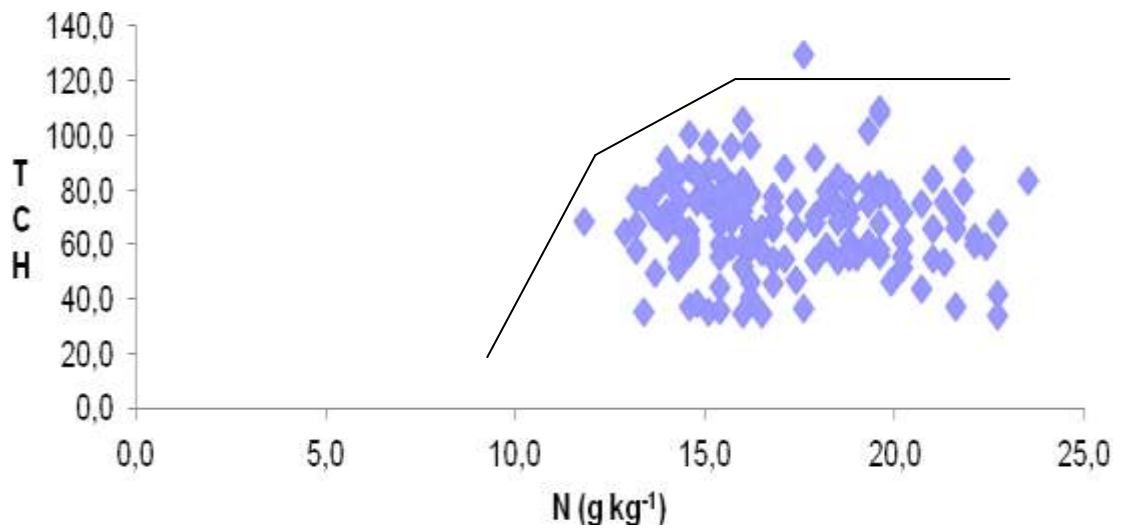


Figura 3. Relación entre a productividad de tallos en función de la concentración de nitrógeno en hojas de caña-de-azúcar.

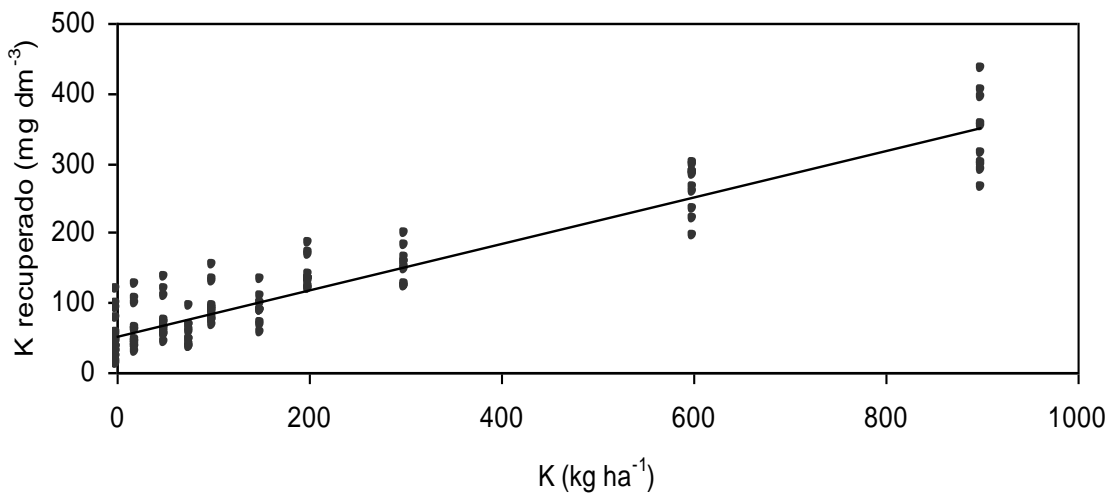


Figura 4. Relaciones entre cantidad de potasio recuperado en los tallos y la disponibilidad de K en los suelos.

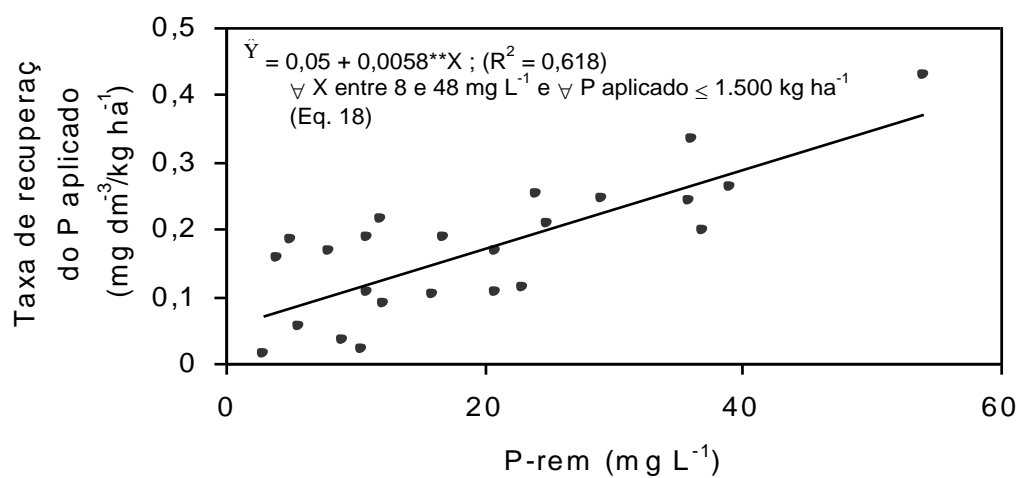
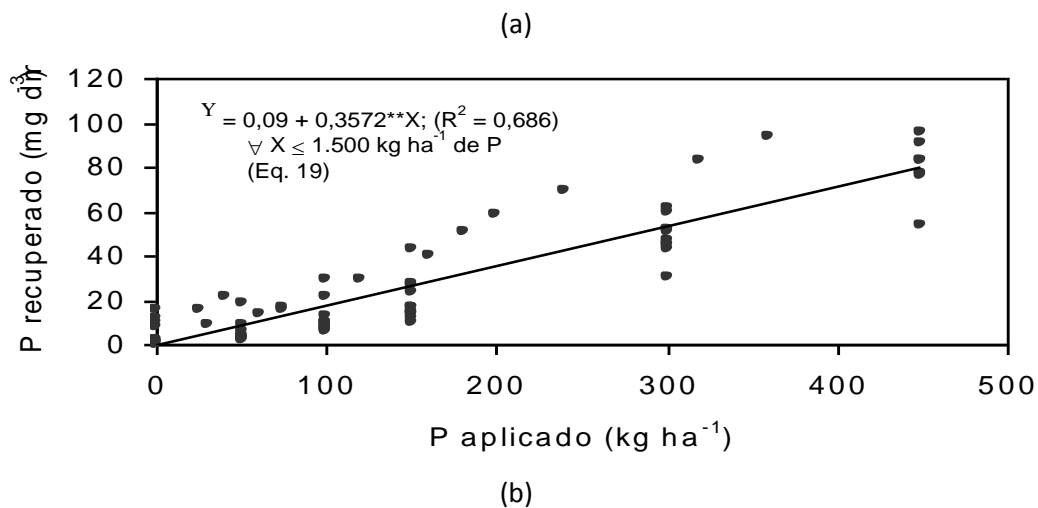


Figura 6. Relaciones entre cantidad de P- recuperado en los tallos y la disponibilidad de P en los suelos por los extractores de Solución de Mehlich 1(a) y resina trocadora de ion. (b).

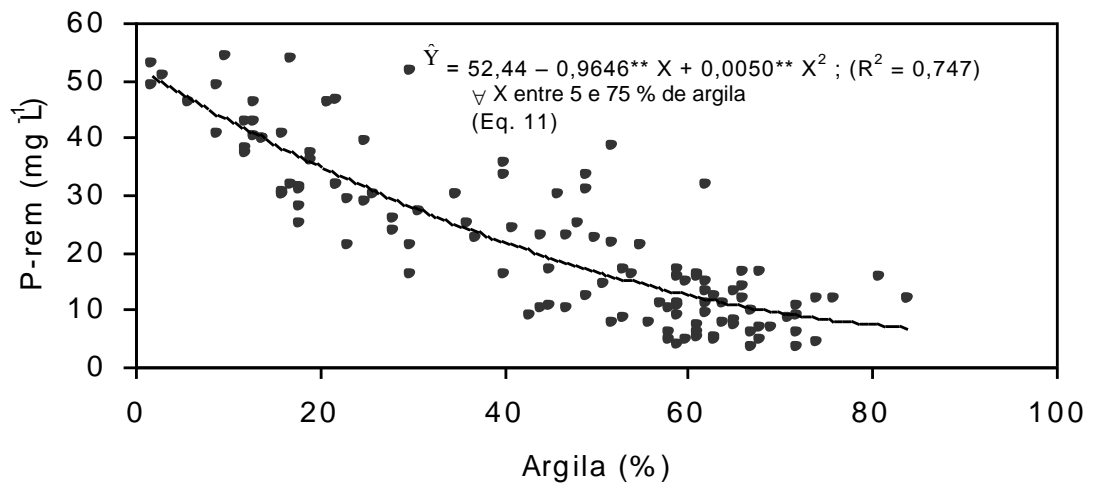


Figura 7. Relaciones entre cantidad y calidad de las arcillas en la disponibilidad de P en los suelos.

Tabela 1. Modelando la demanda por fósforo en función de la productividad y del poder tampón de fosfato do suelo.

Componente	Ecuación
Cana planta	
Tallo	$\hat{Y} = 3.393,44 - 36,9102^{**} X - 41,5718^{**} Z + 0,1327^{**} Z^2 + 0,3808^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Hoja	$\hat{Y} = 2.066,46 - 25,3250^{**} X - 25,7776^{**} Z + 0,0901^{**} Z^2 + 0,2611^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Raiz	$\hat{Y} = 3.572,94 - 46,6764^{**} Z + 0,1983^{**} Z^2$
Cana soca	
Tallo	$\hat{Y} = 1.561,38 - 11,4924^{**} X + 0,01730 X^2 - 19,4638^{**} Z + 0,0684^{**} Z^2 + 0,1134^{**} XZ, R^2 = 0,997^{**}$
Hoja	$\hat{Y} = 1.462,37 - 27,0474^{**} X - 18,2272^{**} Z + 0,0635^{**} Z^2 + 0,2787^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Ressoca	
Tallo	$\hat{Y} = 1.563,80 - 10,8800^{**} X - 19,9378^{**} Z + 0,0775^{**} Z^2 + 0,1084^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$
Hoja	$\hat{Y} = 1.466,22 - 26,9710^{**} X - 18,6351^{**} Z + 0,0723^{**} Z^2 + 0,2746^{**} XZ, R^2 = 0,999^{**}$

Tabela 2. Regresiones de los coeficientes de utilización biológica (CUB) de macro nutrientes de la materia seca para tallos de la caña planta.

Nutriente	Modelo	R ² , validade do modelo.
N	$y = 55,199e^{0,0076x}$	R ² = 0,8712, 25 a 200 TCH
P	$y = 279,43e^{-0,041x}$	R ² = 0,7702, 25 a 200 TCH
K	$y = 81,596e^{0,0015x}$	R ² = 0,8309, 25 a 200 TCH
Ca	$y = 0,5528x + 86,389$	R ² = 0,967, 25 a 200 TCH
Mg	$y = 1,7962x + 75,657$	R ² = 0,9543, 25 a 200 TCH