

RELACIÓN CAPACIDAD-INTENSIDAD DE POTASIO EN SUELOS NO FERTILIZADOS CULTIVADOS CON VAINILLA (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews)

QUANTITY-INTENSITY RELATIONSHIPS OF POTASSIUM IN NON-FERTILIZED SOILS CULTIVATED WITH VANILLA (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews)

Carrillo-González, R.^{1*}; González-Chávez, M.C.A.¹

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230.

*Autor de correspondencia: crogelio@colpos.mx.

RESUMEN

A pesar de la demanda internacional y el alto valor comercial de la vainilla hay pocos estudios de sus requerimientos nutritivos. La disponibilidad inmediata de potasio (K) en el suelo se considera en el factor intensidad y las reservas del potasio no intercambiable constituyen el factor capacidad. Se calcularon los parámetros de equilibrio de intercambio K. Se encontró que los suelos no difieren mucho en su contenido de potasio intercambiable, pero es posible diferenciar suelos con baja actividad en las relaciones iónicas de K respecto al calcio y magnesio. La disponibilidad de K en el suelo es controlada por factores que influyen en los parámetros Q/I. La energía libre de intercambio para los suelos con suficiente aporte de K fue de -3.737 kcal, en contraste para los que tienen bajo aporte que fue de -8.2 kcal. Suelos con bajo factor capacidad pueden liberar hasta 390 mg kg^{-1} de K en ácido cítrico, en contraste el de mayor capacidad podrían liberar hasta 900 mg kg^{-1} .

Palabras clave: Cultivo de vainilla, relaciones iónicas, factor Q/I, potasio intercambiable.

ABSTRACT

Although vanilla is a very profitable and demanded crop, scarce information regarding its nutrient requirements is available. Immediate available K is related to intensity factor, while reserveness of non-exchangeable K is the quantity factor. Potassium exchange-equilibrium parameters were outcome from quantity-intensity relationships. No strong differences were found on exchangeable K, but when the ratio of exchangeable K, Ca and Mg are considered two types of soils can be separated. Potassium availability depends on a sort of factors. Exchangeable energy for soil with high availability of K (-3.737 kcal) contrasts with low K availability (-6.876 kcal). Low capacity factor soils may release up to 390 mg kg^{-1} , but low availability soils can release up to 900 mg kg^{-1} .

Key words: Vanilla cultivation, Ionic relationship, Q/I factor, exchangeable potassium.

INTRODUCCIÓN

En México la producción de vainilla (*Vanilla planifolia*) fue económicamente importante durante mucho tiempo. En la actualidad el cultivo está en dificultades, aparentemente, debido a múltiples causas derivadas del cambio de uso de suelo en la región y de su manejo; variación de clima, proliferación de enfermedades, además de problemas en su comercialización y la venta masiva de esencia artificial; a precios mucho menores que el extracto natural (Hernández-Hernández, 2010). El conjunto de variables hace complejo deslindar las principales limitantes, por eso es importante explorar todas las posibilidades. Los agricultores argumentan que es un cultivo que demanda mucho trabajo y cuidados, y a la vez es muy delicado.

La dinámica de los nutrientes es clave para acotar las variables limitantes de la producción. Sin embargo, no se han evaluado los métodos de estimación de nutrientes en el suelo que reflejen mejor su disponibilidad para las plantas. Tampoco se han determinado las concentraciones óptimas de nutrientes en la vainilla; la relación entre producción y nutrición; ni las tasas de extracción por cada unidad de masa cosechada. Estos aspectos son básicos para establecer programas de manejo de nutrientes en la producción comercial de la vainilla.

En el sistema tradicional de manejo, el cultivo se cambiaba periódicamente de una a otra parcela, más fértil y con menor densidad de patógenos. Se abandonaban las plantaciones desnutridas, con baja producción o alta incidencia de enfermedades, se dejaba crecer la vegetación secundaria para que el sistema se estabilizara nuevamente. En contraste, ahora se han desarrollado sistemas de cultivo intensivos, con alta densidad de plantas y sombra artificial (Hernández y Lubinsky, 2011), en los cuales se espera mayor extracción de nutrientes; ya que tradicionalmente no se suplen en compuestos químicos (Fouche y Jouve, 1999). Entre los desafíos está el acortado suplemento de nutrientes y el control de enfermedades.

Un enfoque muy práctico que se ha aplicado a otros cultivos es concentrarse únicamente en los requerimientos inmediatos de la planta. Pero para el caso de la vainilla no se tiene información registrada de la demanda de nutrientes (Hernández y Lubinsky, 2011) y menos aún de las concentraciones críticas en el tejido. Por otra parte, la vainilla es un cultivo de lento crecimiento (Fouche

y Jouve, 1999) y con ciclo de producción mayor a 10 meses, por lo que la generación de datos es lenta y los requerimientos nutricionales usualmente se infieren de otras especies (Hernández y Lubinsky, 2011) de la misma familia.

En el caso del potasio (K), cuatro son las formas químicas que se encuentran en el suelo: a) K en la solución, b) intercambiable, c) no intercambiable y d) en la estructura de los minerales (Evangelow et al., 1994). Las primeras dos formas son las disponibles para las plantas, pero las no intercambiables pueden potencialmente ser liberadas. Pero con la información obtenida a partir de estas formas, no siempre se puede decir si el K sea un factor limitante de la producción. Es necesario elucidar el aporte potencial de K a partir de estudios de equilibrio. El potasio tiene varias funciones en la planta que pueden reducir el estrés (Figura 1) y mejorar su crecimiento.

La relación de capacidad-intensidad es un concepto que se usa para investigar la disponibilidad de K en el suelo y se aplica como prospección de su disponibilidad (Lin, 2011). La inmediata disponibilidad de K se relaciona con el factor intensidad (Diatta et al., 2011). Por otra parte, la reserva de K se expresa como factor capacidad. La relación de actividades de K y calcio (Ca) en la solución del suelo se propone como medida de la diferencia entre los potenciales químicos de estos iones (Beckett, 1972). Varios factores afectan esta relación (Idgbor et al., 2009); entre ellos el manejo del suelo. Alta actividad de ion K se asocia con alta liberación, es decir alto potencial de capacidad de amortiguamiento (PBC_o^K) se asocia con buena liberación. Prácticas como la fertilización con K o la adición de cal al suelo pueden inducir cambios en la relación de actividades de K y Ca o en el K lábil (Diatta et al., 2011); ya que la cantidad de K que se absorbe, lo afecta Ca y magnesio (Mg; Evangelow et al., 1994).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron muestras compuestas de suelo (0-20 cm), de tres localidades donde se cultiva vainilla (Cuadro 1), integradas por ocho muestras individuales. Para su caracterización y la realización de los experimentos de equilibrio, el suelo se secó a la sombra y pasó por una malla de 2 mm.

La caracterización del suelo se hizo con procedimientos estandarizados: pH, conductividad eléctrica, textura y capacidad de intercambio catiónico (Rowell, 1994);

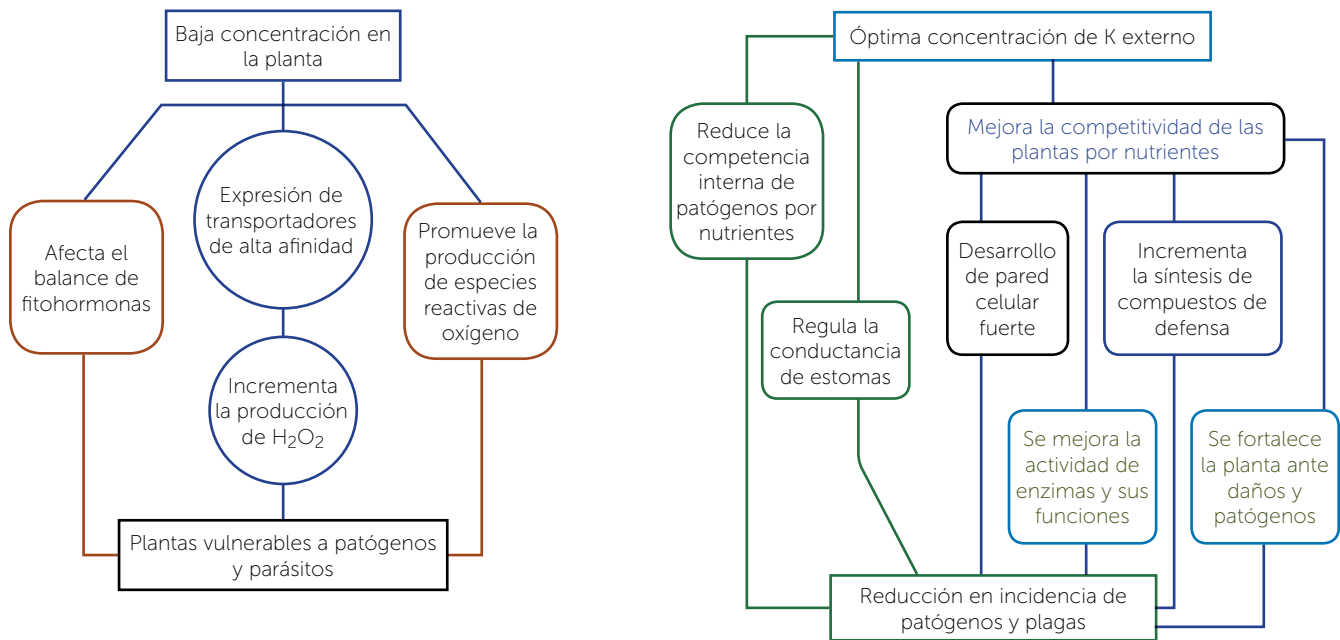


Figura 1. Funciones del potasio en la planta y su relación frente al estrés (adaptado de Wang et al., 2013).

Cuadro 1. Ubicación y forma de cultivo de las parcelas muestreadas.

Localidad	Latitud (norte)	Longitud (oeste)	Altitud (msnm)	Forma de cultivo
Pantepec, Pue.	20° 30' 17"	97° 53' 17"	215	Malla sombra, tutores de cemento
Papantla, Ver.	20° 25' 39"	97° 18' 42"	192	Tutores vivos (<i>Erythrina americana</i> , <i>Eysenhardtia polystachia</i> , <i>Bursera simaruba</i>) en hileras.
1 de Mayo, Ver.	20° 17' 44"	97° 15' 54"	155	Acahual, varios tutores sin arreglo geométrico definido (<i>Gliricidia sepium</i> , <i>Pachura aquatica</i> , <i>Erythrina americana</i> , <i>Eysenhardtia polystachia</i> , <i>Bursera simaruba</i>).
Puntilla Aldama, Ver.	20° 14' 05"	96° 54' 14"	9	Tutores en hileras <i>Pachura aquatica</i> y <i>Erythrina americana</i> con podas continuas y altura controlada.

materia orgánica (Nelson y Sommers, 1982); fósforo (Olsen, 1954). Los experimentos de relaciones de actividades de iones se hicieron por el procedimiento descrito por Beckett y modificado por Wang et al. (2004).

Las muestras de suelo se pesaron por triplicado (2 g). Se equilibraron con concentraciones crecientes de K (KCl) de 0.5 a 4.3 mM, en 50 mL de solución de CaCl₂ (0.01 M), durante 2 h a temperatura de 20 °C. En el sobrenadante se analizó el contenido de Ca, Mg y K. El factor cantidad de K se calculó a partir de la diferencias de concentración de K inicial y final en la solución. El factor intensidad se calculó de la relación entre K_e y AR_e^K. Las concentraciones se expresaron en mol L⁻¹.

Para la construcción de las gráficas de capacidad intensidad (Q/I) se usaron las ecuaciones que se des-

criben a continuación: El cambio de K en la solución de equilibrio: $\Delta K = \frac{(K_i - K_f) \times v}{w}$. La relación de actividades (AR) de K, Ca y Mg se calculó como sigue:

$$AR_e^K = \frac{K_i}{\sqrt{(Ca + Mg)}}. \text{ El intercepto de la curva Q/I en el eje } AR_e^K, \text{ donde } K=0, \text{ proporciona la relación de actividad en equilibrio } (AR_o^K).$$

El K específico del sitio (K_x) se obtuvo por extrapolación de la parte lineal de la curva Q/I a la ordenada y de la diferencia entre K_L y ΔK_e. La capacidad potencial buffer de equilibrio (PBC_o^K) fue la pendiente de la sección lineal de la curva Q/I (Figura 2).

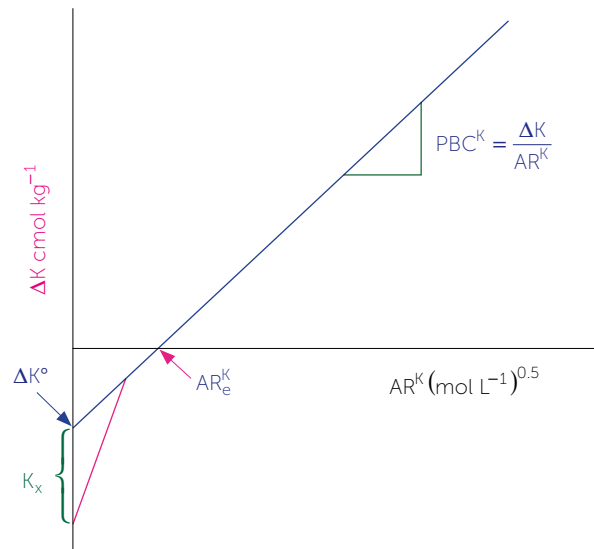
La energía libre de intercambio (kcalorías por mol) de K en el equilibrio se determinó con la expresión de Beckett

(1972) $-\Delta G = 2.303 RT \log AR_e^K$; Donde: R=Constante de gases (1.98717 cal mol⁻¹ K⁻¹), T=Temperatura absoluta en grados Kelvin.

La dinámica de K en el suelo puede controlarse por procesos de intercambio y difusión, en los cuales la Capacidad Potencial Buffer (PBC_e^K) tiene una función muy importante. $PBC_e^K = \frac{\Delta k_e}{\Delta R_e^K}$ Los valores de PCB son indicativos de la capacidad del suelo para mantener una actividad de K definida (Le Roux y Summer, 1968) durante el equilibrio, cuando las plantas lo absorben. También se determinó la cinética de liberación de K usando una solución de ácido cítrico 0.05 mM como simulador de la función de la raíz de la planta, por extracciones sucesivas de 30 min (Idgbor *et al.*, 2009). Se usaron varias ecuaciones para tratar de describir la liberación del K (Cuadro 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de la región de Papantla son de color negro (10YR2/1) a gris muy oscuro (5Y2/1); pesados, con baja conductividad hidráulica (<10⁻⁷ m s⁻¹), con características vérticas (alto contenido de arcillas expandibles). Se agrietan y varían en espesor dependiendo de la posición topográfica, desde 25 cm en las laderas de los cerros hasta 85 cm en las zonas planas y aluviales. Poseen estructura columnar o masiva y se compactan, por lo que su drenaje es deficiente (Figura 3a). Su textura varía de migajón arcillosa a arcillosa; lo que les permite retener



ΔK =cantidad de K que el suelo gana o pierde en equilibrio (factor intensidad)
 AR_e^K =Relación de actividad de K en equilibrio (factor intensidad)
 ΔK° =K lábil o intercambiable
 K_K =K específico del sitio
 PBC_e^K =Capacidad potencial de amortiguamiento de K en equilibrio (cmol_c kg⁻¹ (mol dm⁻³)^{-0.5}).

Figura 2. Forma típica de una curva Q/I: cambio en la disponibilidad de K en función de relación de actividades de K respecto al Ca y Mg (Beckett, 1964).

alta proporción de agua. En contraste, los suelos de Puntilla Aldama tienen mayor contenido de arena por lo que son francos, por ser aluviales y son más profundos, con mejor drenaje (Cuadro 3). Con porosidad de 59% a 49%

Cuadro 2. Ecuaciones que describen la cinética de liberación de K del suelo en ácido cítrico 0.05 M.		
Ecuación	Fórmula	Parámetros
Orden cero	$(q_e - q_t) = K_1 t$	a y b constantes
Primer orden	$\ln t = \ln a - bt$	k_1 =constante de primer orden (h ⁻¹)
Segundo orden	$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{q_e} - k_2 t$	k_2 =constante de segundo orden (μg g ⁻¹)
Elovich simple	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t$	α =tasa de liberación inicial (μg g ⁻¹ h ⁻¹) β =constante de liberación (μg g ⁻¹)
Función exponencial	$q_t = at^b$	a=tasa de liberación inicial. b=coeficiente de liberación (μg g ⁻¹)
Función parabólica	$q_t = q_e + Rt^{1/2}$	R, contante de difusión (μg g ⁻¹) ^{-0.5}
Pseudo primer orden	$\frac{\partial q}{\partial t} = k_1 (q_e - q_t)$	k_1 =tasa de adsorción (g mg ⁻¹ min ⁻¹). Integrado entre los siguientes límites q=0; t=0; q=q y t=t
Pseudo segundo orden	$\frac{\partial q}{\partial t} = k_2 (q_e - q_t)^2$	k_2 =tasa de adsorción (g mg ⁻¹ min ⁻¹). Integrado entre los siguientes límites q=0; t=0; q= q y t=t

q_t =K liberado después del tiempo t (mg kg⁻¹), q_e =K liberado al equilibrio (mg kg⁻¹), t=tiempo (min). Avling *et al.*, 1985.



Figura 3. a) Perfil de suelo de cultivo de vainilla en acahual, Papantla, b) cultivo de vainilla con tutores vivos en suelo de vega de río.

(Figura 3b). En general, son suelos neutros a moderadamente alcalinos, con variable contenido de materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico de moderada a alta (Hazelton y Murphy, 2007).

Se considera que los suelos ideales para el cultivo de la vainilla deben ser ligeros, porosos, ricos en humus y de fácil drenaje, para que durante el crecimiento la raíz no encuentre zonas con humedad excesiva (Fouché y Jouve, 1999). La principal limitante de algunos suelos de la zona es la pobre conductividad hidráulica; implica la necesidad de mantener a la raíz de la planta en el suelo superficial y en zonas con pendiente para adecuado drenaje.

El contenido de K soluble es variable, pero bajo ($<0.5 \text{ mg kg}^{-1}$), lo que implica que la tasa de lixiviación potencial es baja (Cuadro 3). Sin embargo, la disponibilidad para las plantas (extraído con acetato de amonio) varía de baja a media. En Pantepec, el K intercambiable ($0.84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) fue el más bajo, con un equivalente apenas de 70 kg ha^{-1} . En contraste, en el suelo de Papantla la concentración fue mayor ($2.08 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Pero, debido a la adición de carbonato de calcio para el control de plagas, la capacidad de abasto de

K puede ser afectada por el cambio en la relación de iones. El K extraído con ácido nítrico que representa la cantidad de elemento potencialmente disponible para las plantas es alto (de 2.4 a $5.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), lo que sugiere un buen factor capacidad. Pero, considerando los iones con los que compete, es necesario saber si el elemento está realmente disponible para las plantas. Esta información útil la proporcionan las isotermas. Solamente la isoterma del suelo 1 de mayo fue una gráfica típica Q/I, obteniéndose los valores

KL, para los otros suelos no se obtuvo valores.

Respecto a las gráficas de Q/I, solamente en los suelos de Papantla y Puntilla Aldama se obtuvieron gráficas típicas, con valores de K lábil (K_L) evidentes. En los suelos de Pantepec, Primero de Mayo el factor intensidad (ΔK) está predominantemente en el cuadrante positivo, es decir, a bajos valores de RA, el K permanecerá adsorbido al suelo y habrá poca disponibilidad para las plantas. Entre más altos sean los valores de ΔK , mayor será la disponibilidad de K para las plantas (Sparks y Liebhart, 1981). La relación de actividades de K en equilibrio con respecto a la de Ca y Mg es baja (menor a 0.5) en Pantepec y Papantla. En contraste, con la de 1 de mayo y Puntilla Aldama que es de 4 y 6, respectivamente (Cuadro 4). La capacidad de adsorción (pendiente de la línea) también es baja en Pantepec y Papantla y 1 de Mayo, comparada con la de Puntilla Aldama (Figura 4). Por lo que al aumentar la concentración de Ca en 1 de Mayo o Puntilla Aldama, la actividad de K se incrementa y no hay reducción de la disponibilidad para las plantas. En contraste en Pantepec y Papantla la RA se mantienen baja. Al aumentar la cantidad de K aplicado al suelo, no aumenta la adsorción en el suelo; lo que implica baja habilidad del suelo para retener K sin que se pierda por lixiviación.

Cuadro 3. Algunas características de los suelos donde se cultiva vainilla.

Sitio	pH	ρ g mL^{-1}	CE dS m^{-1}	CIC $\text{cmol}_+ \text{ kg}^{-1}$	MO	Arcilla	Limo	Arena
					g kg^{-1}			
Pantepec	8.08	1.10	0.17	27	57	280	400	320
Papantla	7.35	1.20	0.54	42	41	425	290	285
1 de mayo	7.52	1.30	0.29	23	47	240	320	420
Puntilla Aladama	7.23	1.35	0.59	24	68	240	320	440

ρ =densidad aparente; CE=conductividad eléctrica; CIC=Capacidad de intercambio catiónico; MO=material orgánica.

Cuadro 4. Contenido de potasio en el suelo y factores fisicoquímicos calculados a partir de las relaciones iónicas.

Sitio	K_{sol}	K_{inter}	$K-HNO_3$	K_{index}	PBC	AR_e^K	ΔK°
	mg kg ⁻¹						
Pantepec	0.042	329	937	8.3	0.937	0.93	0.004
Papantla	0.290	1282	1868	32.1	1.93	0.42	1.100
1 de mayo	0.076	615	1619	16.9	1.15	0.20	0.340
Puntilla Aldama	0.430	815	2069	20.4	1.10	0.80	1.840

PBC_K =Capacidad potencial de amortiguamiento; RA^K =Relación de actividad de K.

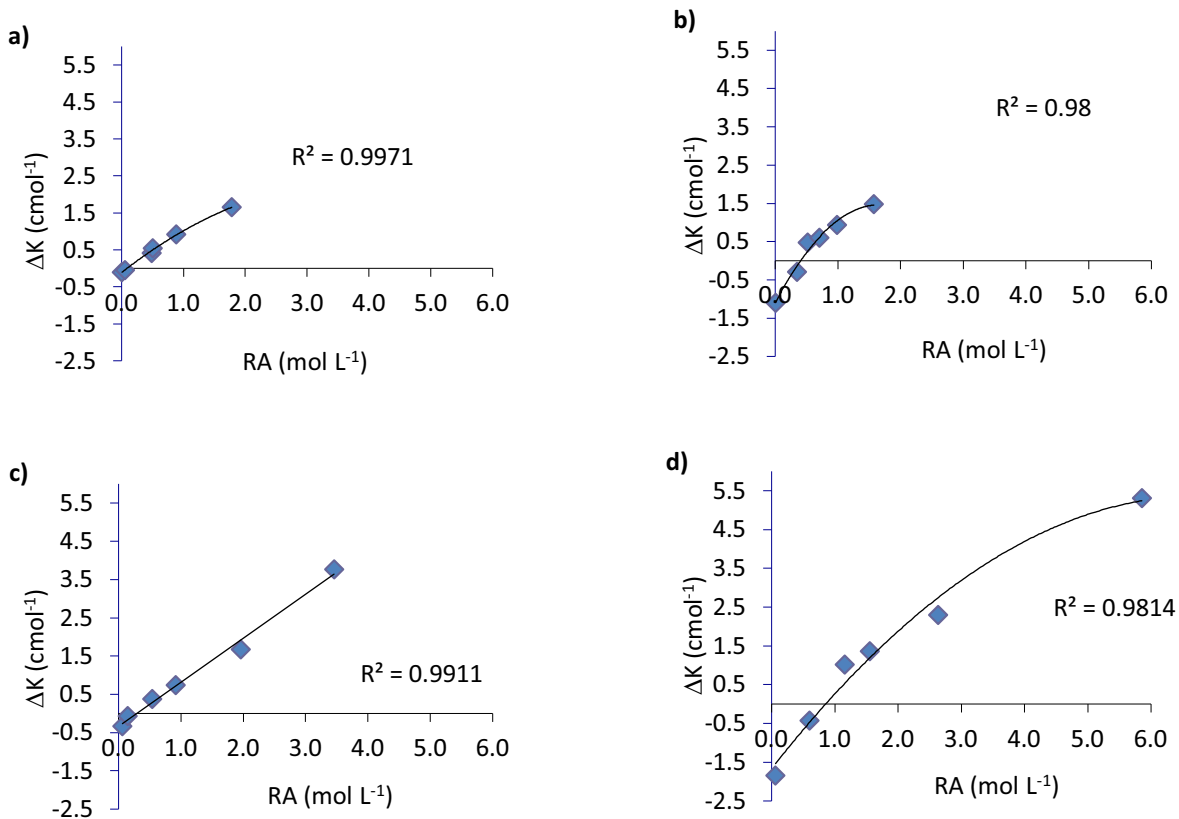


Figura 4. Relaciones Q/I para potasio en suelos de a) Pantepec, b) Papantla, c) 1 de Mayo y d) Puntilla Aldama.

Los suelos de Papantla, con mayores valores de PBC_e^K , se caracterizaron por menor porcentaje de saturación de K, indicativos de alto potencial para intercambiar este elemento en la solución. Además, las relaciones de iones tienen mejor balance. La energía libre de intercambio ($-\Delta G_e^K$) de K en el equilibrio es la energía libre de reemplazo del K. Para cada suelo fue -6.88 , -8.23 , -3.74 y -3.73 kcal, en el orden Pantepec, Papantla, 1 de Mayo y Puntilla Aldama, respectivamente. Esto implica que en Pantepec y Papantla se requiere mayor energía para el proceso de intercambio, en comparación con 1 de Mayo y Puntilla Aldama. Los suelos con altas concentraciones de K intercambiable tienen valores menores energía (Woodruff, 1955).

Tasa de liberación. La tasa de liberación de K en los cuatro suelos es muy rápida en los primeros cinco min y después se reduce. La curva casi no muestra cambios, con excepción del suelo de Puntilla Aldama. La mayor proporción de K liberado ($>71\%$) del suelo ocurrió en los primeros 20 min del equilibrio, después la proporción liberada fue baja. La tasa de liberación del K cambia en función del número de extracción. El suelo con menor capacidad de liberación fue el de Pantepec y el de mayor liberación fue el suelo de Puntilla Aldama, seguido por el de 1 de Mayo. La cantidad de nutriente que puede aportar el suelo de Pantepec es menos de la mitad de lo que aportan los otros suelos.

De las ecuaciones usadas para describir la liberación, solo la función semilogarítmica describe apropiadamente el proceso (Figura 5). El ajuste a la función parabólica fue la segunda en el ajuste, pero con menos precisión. Esto implica que aparentemente la liberación de K es fuertemente influenciada por el equilibrio durante el intercambio de iones.

Ninguna de las otras ecuaciones evaluadas, incluyendo las de orden cero, primer, segundo, exponencial o Elovich, tuvo buen ajuste, debido a que la velocidad de liberación cambia drásticamente después de los primeros 20 min.

De acuerdo con Fouché y Jouve (1999), el aporte de materia orgánica a la base de las plantas es la fuente básica de nutrientes, inclu-

yendo el K. Se esperaría que la lixiviación de estos materiales permitiría la liberación del elemento para su absorción por las raíces. Por cada kg de vaina producida solamente se requiera de 1 a 2 g de minerales. En términos de masa de K aportada por el suelo, aparentemente, sólo el suelo de Pantepec no suplementa suficiente K para cubrir los requerimientos de la planta.

Relación de potasio extractable con el contenido en planta. No se observó correlación directa entre la concentración de K intercambiable del suelo con la concentración de este elemento en las plantas. Tampoco al usar la relación de actividades de K con Ca y Mg. Esto se podría explicar considerando el rápido cambio de K en el suelo o bien que el procedimiento de determinación de K en el suelo no sea el más apro-

piado para predecir la disponibilidad para la vainilla. Se debería buscar un método de análisis de K que se relacione directamente con lo extraído por las plantas. Es necesario incluir al K en el balance de nutrientes que ingresan a la planta y que pudiera ser absorbido por las raíces adventicias. También es necesario considerar el estudio de la respuesta de las plantas a la adición de K.

CONCLUSIONES

La concentración de K extractable con acetato de amonio en el suelo es de moderado a alto. El suelo tiene alta capacidad potencial de amortiguamiento de K a pesar de las adiciones constantes de calcio; sin embargo, la aplicación de cal puede modificar el intercambio de K en el suelo. Es necesario establecer correlaciones entre el contenido de K en las plantas

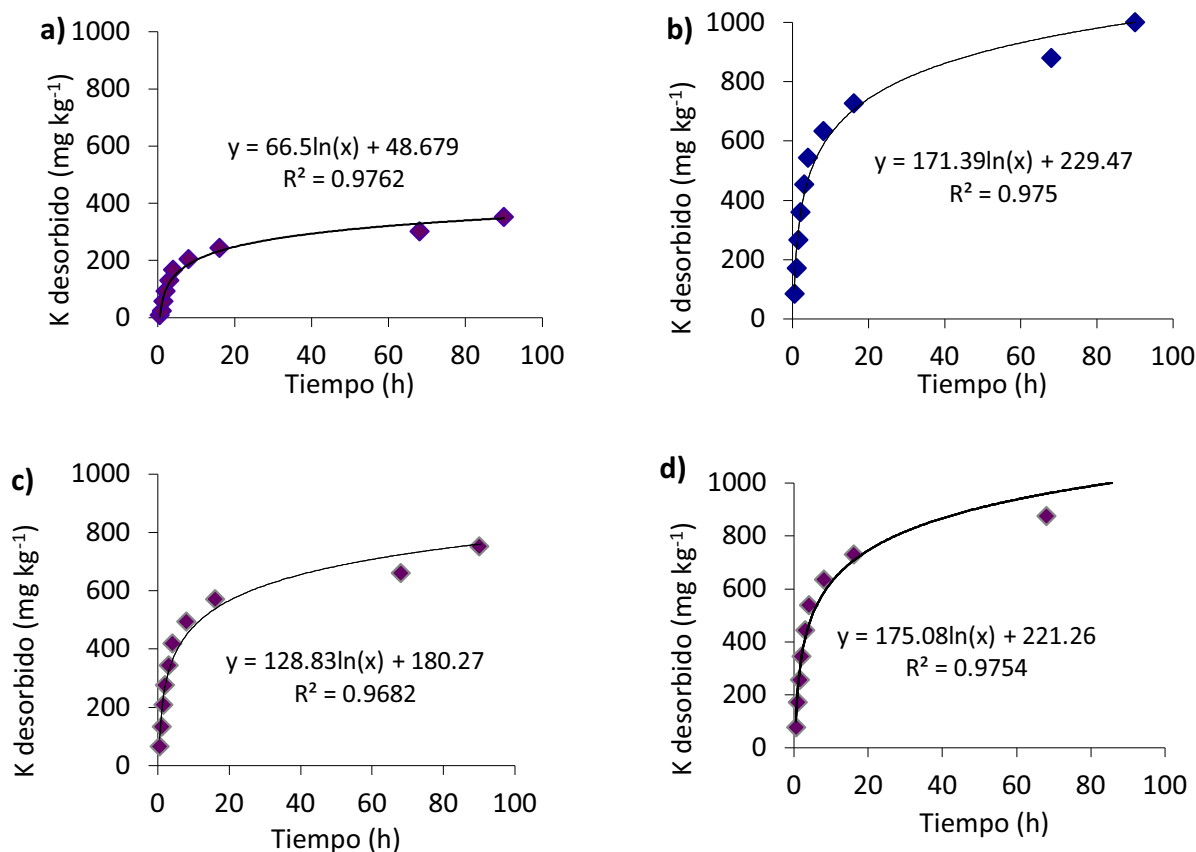


Figura 5. Desorción de K en función del tiempo de equilibrio en a) Pantepec, b) Papantla, c) 1 de Mayo y d) Puntilla Aldama.

y las formas analizadas para definir el mejor indicador de su abastecimiento. También se requiere experimentar con la aplicación de K para obtener una mejor relación Q/I y su efecto en el rendimiento del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

Investigación fue apoyada por el Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT: 2012-04-190442. "Estrategia de investigación aplicada para el fortalecimiento, innovación y competitividad de la producción de vainilla en México a través del subproyecto-03. Se reconoce las facilidades otorgadas por los productores para el muestreo.

LITERATURA CITADA

- Avlin J.L., D.G. Westfall, S.R. Olsen. 1985. Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. *Soil Science Society American Journal* 49: 371-376.
- Beckett P.H.T. 1964. Studies of soil potassium. I. Confirmation of the ratio law: Measurement of potassium potential. *Journal of Soils Science* 15: 1-8.
- Beckett P.H.T. 1972. Critical activity ratios. *Advances in Agronomy* 24: 376-412.
- Cibes H., R.N.F. Childers, A.J. Laouastalot. 1947. Influence of mineral deficiency on growth and composition of vanilla vines. *Plant Physiology* 22: 291-299.
- Diatla J.B., W.K. Zdzislaw, G. Witold. 2011. Evaluation of potassium quantity intensity parameters of selected polish agricultural soils. *Electronic Journal Polish Agricultural Universities*. 9 (4).
- Evangelow V.P., J.R.E. Wang. 1994. New development and perspectives on soil potassium quantity intensity relationships. *Advances in Agronomy* 52: 173-227.
- Fouche J.G., L. Jouve. 1999. *Vanilla planifolia*: History, botany and culture in Réunion island. *Agronomy* 19: 689-703.
- Hazelton P., B. Murphy. 2007. *Interpreting Soil Test Results: What Do All the Numbers Mean?* 2nd ed. CSIRO Publishing, Oxford. 152 p.
- Hernández H.J., P. Lubinsky. 2011. Cultivation Systems. *In: Vanilla*. Odoux E., M. Grisoni. Ed. CRC Press. Boca Raton. Pp. 75-95.
- Igdgor C.M., D.O. Asawalam, E.U. Onweremadu, B.N. Ndukwu. 2009. Potassium quantity-intensity relationship of fauna modified soils of Abie State. *International Journal Sustainable Agriculture* 1: 49-52.
- Le Roux J., M.E. Summer. 1968. Labile potassium in soils. I. Factors affecting the quantity-intensity (Q/I) parameters. *Soil Science* 106: 35-41.
- Lin Y.H. 2011. Studies on quantity and intensity of potassium in some Taiwan farmland soils. *Clean - Soil, Air, Water* 39: 345-350.
- Nelson D.W., L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In: A.L. Page (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part II*, 2nd ed. *Agronomy* 9: 539-580.
- Olsen S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe, L.A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular No. 939.
- Rowell D.L. 1994. *Soil Science: Methods and Applications*. Longman Scientific & Technical/John Wiley & Sons. 350 p.
- Wang J.J., L.H. Dustin, F.P. Paul. 2004. Potassium buffering characteristics of three soils low in exchangeable potassium. *Soil Science Society of America Journal* 68: 654-661.
- Wang M., Q. Zheng, Q. Shen, S. Guo. 2013. The critical of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Science* 14: 7370-7390.
- Woodruff C.M. 1955. Energies of replacement of Ca and K in soil. *Soil Science Society of America Proceedings* 19: 167-171.

