



INFORMACIONES AGRONÓMICAS



de Hispanoamérica

Septiembre 2011 · No. 3

CONTENIDO

Respuesta al agregado de micronutrientes en el cultivo de soya en suelos de diferente aptitud agrícola	1
Fertilización del cultivo de soya en el sudeste bonaerense - Resultado de ensayos en las campañas 2009/10 y 2010/11	5
Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina	9
Cómo promover un uso sustentable del recurso suelo en Uruguay	14
Enfoques alternativos para el diagnóstico de fertilidad de suelos - El enfoque "Tradicional"	17
La deficiencia transitoria de calcio como causa primordial de la pudrición de cogollo en palma de aceite	26
Reporte de Investigación Reciente	53
Cursos y Simposios	54
Publicaciones Disponibles	55

**Editores: Dr. Fernando O. García
Dr. Raúl Jaramillo**

International Plant Nutrition Institute

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor

www.ipni.net

RESPUESTA AL AGREGADO DE MICRONUTRIENTES EN EL CULTIVO DE SOYA EN SUELOS DE DIFERENTE APTITUD AGRÍCOLA

Sebastián Gambaudo¹, María Sofía Racca Madoery² y Hugo Fontanetto¹

Introducción

Ocho de los diecisiete elementos esenciales para el crecimiento vegetal son llamados micronutrientes por ser requeridos en cantidades muy inferiores a los macro o meso nutrientes, son ellos el boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn). A pesar de ser requeridos en pequeñas cantidades, la falta de cualquiera de ellos en el suelo puede limitar el crecimiento de los vegetales (Darwich, 2005). Otros elementos beneficiosos para las plantas pero aún no clasificados como esenciales incluyen al cobalto (Co), silicio (Si), sodio (Na), selenio (Se) y aluminio (Al). A pesar de que el Co es considerado esencial para la fijación de nitrógeno (N) atmosférico por las bacterias en las leguminosas, aún no se considera esencial para todas las plantas superiores (Prochnow et al., 2009). El Mo es un componente de la enzima nitrato-reductasa, además de intervenir junto con el Zn en la síntesis de proteínas. El B se asocia al metabolismo de azúcares y a la formación del tubo polínico (Torri et al., citado por Echeverría y García, 2005).

Si bien en la región pampeana no se han detectado deficiencias en forma visual de estos nutrimentos, es sabido que las mismas pueden estar relacionados con suelos de baja fertilidad o intensamente cultivados, especialmente el B y Zn (Fancelli, 2006), la presencia de Zn en el suelo está estrechamente vinculada a la materia orgánica del suelo (MO) (Ron y Loewy, 2006). También la menor disponibilidad de Mo puede ocurrir en suelos ácidos fenómeno que también comienza a manifestarse con el manejo actual de los suelos (Gambaudo et al., 2001).

A pesar de ser la soya el principal cultivo extensivo en Argentina, se han conducido escasos experimentos de campo con micronutrientes, excepto ensayos de tratamiento de semilla con Co y Mo durante la inoculación. Los resultados de rendimiento de semillas recubiertas con estos micronutrientes mostraron aumentos significativos de la producción en casi el 50% de los ensayos (Melgar et al., 2001).

¹ INTA EEA Rafaela. Santa Fe, Argentina. Correo electrónico: sgambaudo@rafaela.inta.gov.ar

² Actividad privada.

La práctica de la fertilización foliar ha demostrado ser una práctica recomendable para la aplicación de micronutrientes por las bajas cantidades implicadas en el suministro, la uniformidad lograda al aplicar pequeñas cantidades, la falta de contacto con el suelo evitando interacciones y el alto cociente entre las cantidades aplicadas y las absorbidas por las plantas (Melgar, 2006).

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la respuesta en rendimiento del cultivo de soya al agregado de Co, Mo, Zn y B en suelos con diferente aptitud agrícola.

Materiales y métodos

Entre los suelos predominantes de la región pueden encontrarse dos situaciones:

- Aquellos que se encuentran en las partes más altas, con relieve suavemente ondulado y escurrimiento eficiente, son suelos bien drenados clasificados como Argiudoles típicos. Estos corresponden a la Clase I, y presentan un índice de productividad de 86.
- Zonas de relieve muy suavemente ondulado, con sectores de escurrimiento lento y deficiente, predominando un complejo de suelos que abarca: Argiudol típico 30%, Argiudol ácuico 30% y Argialbol típico 20%. Estos son clasificados como Clase IIw, y tienen un índice de productividad de 77. (INTA, 1990 y Giorgi et al., 2008).

Se realizaron dos ensayos en la localidad de Bernardo de Irigoyen, Departamento San Jerónimo (Santa Fe), uno en un suelo Clase I y otro en un suelo Clase IIw. Los lotes en los cuales se realizaron los ensayos de fertilización, provienen de 16 años de siembra directa siguiendo la siguiente rotación de cultivos: Trigo/Soya 2^a – Maíz/Soya 1^a.

Los análisis de suelo realizados indicaron un deterioro de los indicadores químicos en lo que respecta a fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg), viéndose también afectados los valores de pH (**Tabla 1**). Debido a ello se fertilizó ambos ensayos con 195 kg ha⁻¹ de SPS (Superfosfato Simple) y 95 kg ha⁻¹ de dolomita aplicados en el momento de la siembra con sembradora de doble fertilización. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se mantiene dentro de los rangos normales, no existiendo problemas de excesos de sodio (Na) ni riesgos de salinidad.

Los ensayos fueron realizados con un diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental tuvo cuatro surcos de ancho por 15 m de largo.

Los tratamientos que se evaluaron en ambas situaciones se detallan en la **Tabla 2**.

Todas las semillas empleadas en el ensayo fueron inoculadas agregándose en las parcelas correspondientes el Co y Mo en formulación líquida a una concentración de 200 cm³ en 100 kg de semilla. En el estadio fenológico de V3 se realizó la aplicación foliar de Zn quelatado con una dosis de 400 g ha⁻¹ y a comienzo de la formación de vainas (estadio fenológico R3) se realizó la aplicación de B en las parcelas correspondientes con una dosis de 200 g ha⁻¹. Las aplicaciones foliares fueron realizadas con mochila de motor de presión constante, arrojando un caudal de agua de 130 l ha⁻¹.

Durante el ciclo del cultivo se realizó una determinación del número de nódulos en el estadio de V5 en los tratamientos testigo y con el agregado de Co y Mo aplicados con la semilla. Se extrajeron cuatro plantas de cada tratamiento (una por repetición) dividiendo la raíz en tres estratos: superior, medio e inferior.

Tabla 1. Características químicas (0-20 cm) de los suelos donde se realizaron las experiencias. Campaña 2009-2010.

Suelo	pH	MO %	P ----- ppm -----	S	CIC ----- meq 100 g ⁻¹ -----	Ca	Mg	K	Na
Clase I	6.3	2.87	9.2	1.7	17.3	10.2	1.0	1.2	0.3
Clase IIw	6.2	2.80	8.1	2.8	17.5	9.4	0.7	1.3	0.5

Tabla 2. Evaluación de zinc (Zn), boro (B), cobalto (Co) y molibdeno (Mo) con distintas formas y momento de aplicación. Campaña 2009-2010.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5	Tratamiento 6
	Zn	B	Zn+B	Co+Mo	Co+Mo+Zn+B
Testigo	Foliar en V3	Foliar en R3	Foliar en V3 + Foliar en R3	En semilla	En semilla + Foliar en V3 + Foliar en R3

Previo a la cosecha se evaluaron los siguientes parámetros: número de nudos, número de vainas, número de granos, peso de mil granos. La cosecha de los ensayos se realizó con una cosechadora automotriz de parcelas sobre los dos surcos centrales, ajustándose el peso a la humedad comercial de 13.5%. Todos los

resultados fueron analizados con el software estadístico Infostat utilizando Duncan como test de comparación de medias al 5% de significancia.

Resultados y discusión

El recuento de nódulos realizados mostró diferencias importantes entre los tratamientos evaluados (**Figuras 1 y 2**).

En ambas experiencias se observaron diferencias significativas entre los tratamientos en el estrato superior de la raíz y en el número total de nódulos a favor de las plantas tratadas con Co y Mo, corroborando una vez la eficiencia de estos nutrientes en la fijación simbiótica del N en las leguminosas (Scheid, 2006).

En cuanto a los rendimientos y sus componentes, los resultados obtenidos en el ensayo realizado sobre el suelo Clase I se presentan en la **Tabla 3**.

Según el análisis estadístico realizado no se observaron diferencias significativas en los componentes del rendimiento analizados. El rendimiento final del cultivo presentó diferencias entre los micronutrientes utilizados y el testigo. El efecto del Co y Mo aplicados en la semilla fue importante, existió una diferencia de 400 kg ha⁻¹, observándose en estas plantas un mayor número de nudos, vainas y granos por planta. Los tratamientos foliares con Zn tuvieron una diferencia cercana a los 200 kg ha⁻¹ (no significativa) respecto al testigo sin tratar. El B aplicado en R3, produjo un incremento de 264 kg ha⁻¹, que coincide con lo observado por Fontanetto et al. (2010), sobre un suelo también Clase I.

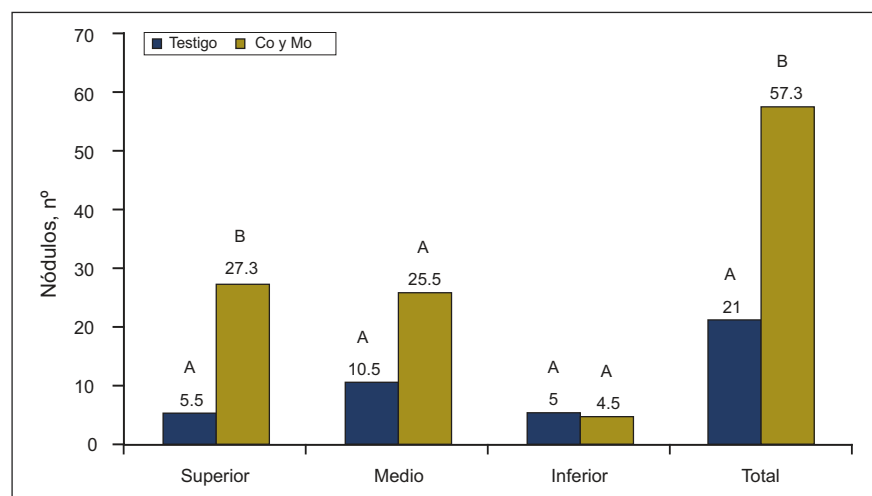


Figura 1. Recuento de nódulos en tres estratos de la raíz en el estadio fenológico V5. Lote Clase I. Tratamientos con igual letra no difieren entre sí (Duncan 5%).

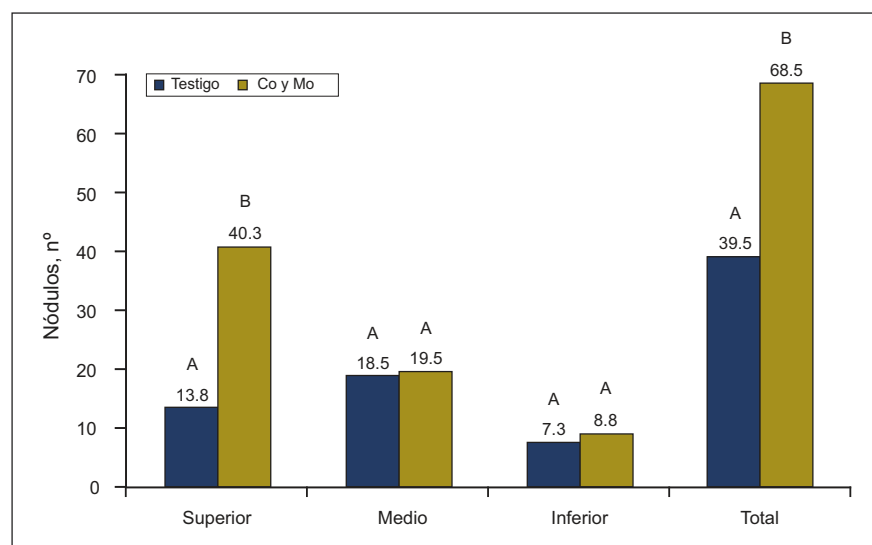


Figura 2. Recuento de nódulos en tres estratos de la raíz en el estadio fenológico V5. Lote Clase IIw. Tratamientos con igual letra no difieren entre sí (Duncan 5%).

Tabla 3. Rendimiento de la soya y sus componentes. Suelo Clase I. Tratamientos con igual letra no difieren entre sí (Duncan 5%).

Tratamiento	Nudos pl ⁻¹	Vainas pl ⁻¹	Granos pl ⁻¹	Peso 1000 granos g	Rendimiento kg ha ⁻¹
Testigo	15.8	36.3	73.3	149.3	3596 a
Zn en V3	21.5	42.5	95.3	174.7	3786 ab
B en R3	20.8	37.0	74.3	164.6	3860 ab
Zn+B	19.8	47.0	96.0	147.6	3782 ab
Co+Mo en semilla	21.5	46.0	75.0	177.3	3956 b
Co+Mo+Zn+B	22.3	47.0	98.5	177.0	3953 b

Tabla 4. Rendimiento de la soja y sus componentes. Suelo Clase IIw. Tratamientos con igual letra no difieren entre sí (Duncan 5%).

Tratamiento	Nudos pl ⁻¹	Vainas pl ⁻¹	Granos pl ⁻¹	Peso 1000 granos	Rendimiento
				g	kg ha ⁻¹
Testigo	22.8 a	35.3	87.0	147.0	3091 a
Zn en V3	33.0 c	50.3	120.3	163.7	3327 a
B en R3	25.3 b	38.8	85.5	168.7	3568 ab
Zn+B	35.3 bc	60.0	140.3	156.2	3510 ab
Co+Mo en semilla	43.0 b	73.5	173.0	142.3	3772 b
Co+Mo+Zn+B	37.3 bc	55.3	131.0	143.9	3790 b

Los resultados obtenidos en el suelo Clase IIw aparecen en la **Tabla 4**. En este suelo, el rendimiento del testigo fue menor que el que rinde en el suelo Clase I, corroborando los diferentes índices de productividad que presentan.

De los componentes analizados el número de nudos por planta fue el único que presentó diferencias significativas. Los rendimientos variaron en forma similar a lo observado en el otro ensayo, con respuesta marcada a la aplicación de Co y Mo en la semilla y menores incrementos debidos al Zn y B.

Conclusiones

Los rendimientos reflejaron respuesta al agregado de Co y Mo en la semilla de soja, posiblemente favoreciendo a una infección temprana de los microorganismos fijadores de N.

Las aplicaciones foliares de Zn y B tendieron a incrementar el rendimiento, especialmente en el suelo de menor calidad.

Bibliografía

Darwich, N. 2005. Manual de fertilidad de suelos y uso de fertilizantes. Cap. 8. Editorial Gráfica Arnedinho, 2ª Edición. 289p.

Echeverría, H.E., y F.O. García. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA. 525p.

Fancelli, A. 2006. Micronutrientes en la fisiología de los cultivos. En: Vázquez, M (Ed.). Micronutrientes en la agricultura. AACs:11-28.

Fontanetto, H., O. Keller, y J. Albrecht. 2010. Efecto de la fertilización foliar con boro y nitrógeno sobre el cultivo de soja. IPNI. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 47:19-22.

Gambaudo, S., H. Micheloud, D. Bersano, D. Durigon, J. Neifert, y G. Osenda. 2001. Respuesta del cultivo de soja al agregado de fertilizante a base de calcio y de magnesio. FERTILIZAR, 6(25):20-21.

Giorgi, R., R. Tossolini, V. Sapino, J. Villar, C. León, y A. Chiavasa. 2008. Zonificación agroeconómica de la Provincia de Santa Fe. INTA: EEA Rafaela. publicación miscelánea. No. 110. 35p.

INTA Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. 1990. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3360-1 y 2 Gálvez-Barrancas.

Melgar, R.J., J. Lavandera, M. Torres Duggan, y L. Ventimiglia. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. Revista Ciencia del Suelo. No.19 (2).

Melgar, R.J. 2006. Fertilizantes con micronutrientes en el mercado argentino. En: Vázquez, M (Ed.). Micronutrientes en la agricultura. AACs:167-175.

Prochnow, L., M. Ferreira de Moraes, y S. Stipp. 2009. Micronutrientes. En: Actas Simposio Fertilidad 2009 “Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos”. 12-13 de Mayo de 2009, Rosario, Argentina: pp.60-77.

Ron, M., y T. Loewy. 2006. Micronutrientes del SO bonaerense y cereales de invierno. En: Vázquez M. (Ed.). Micronutrientes en la agricultura. AACs:147-156.

Scheid L. 2006. Micronutrientes. La experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y la eficiencia agronómica. En: Vázquez, M. (Ed.). Micronutrientes en la agricultura. AACs: 29-58.*



FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE SOYA EN EL SUDESTE BONAERENSE - RESULTADO DE ENSAYOS EN LAS CAMPAÑAS 2009/10 Y 2010/11

Laureano Boga¹

Introducción

La soya es un cultivo que ha tenido un crecimiento exponencial en la región sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). En el mercado afluyente al puerto de Necochea se cultivan alrededor de 1 300 000 ha de soya, 500 000 ha de girasol y 190 000 ha de maíz, representando así la soya más del 65% de la superficie de cultivos de verano en la región.

Este crecimiento en área no ha sido acompañado de la misma manera en el uso de fertilizantes. Para la campaña 2004/05 se sembraban en la región 977 000 ha y se consumían 39 500 toneladas de fertilizantes fosforados, lo que representaba un consumo de 40 kg ha⁻¹. Para la campaña 2009/10, la superficie sembrada fue de 1 200 000 ha y el consumo de fertilizantes fosforados no sobrepasó las 40 000 toneladas, registrándose entonces un 22% de crecimiento en área sembrada sin que esto se refleje en el consumo de fertilizantes. Estos datos evidencian que la fertilización en el cultivo de soya en la región sudeste no se encuentra tan arraigada como la fertilización de cereales, en los cuales cambios en la superficie sembrada siempre se reflejan en cambios en el consumo de fertilizantes.

Para la región sudeste de Buenos Aires existe información para el manejo de la fertilización en soya (Berardo y Reussi Calvo, 2009), sin embargo, es necesario continuar generando información sobre fertilización principalmente fósforo-azufrada, orientada a consolidar el concepto de Mejores Prácticas de Manejo (MPM) para la fertilización del cultivo de soya en la región. En este artículo, se resumen los resultados de ensayos de fertilización fósforo-azufrada en soya de primera realizados en las campañas 2009/10 y 2010/11 en el sudeste de Buenos Aires. La información de la campaña 2009/10 ya fue parcialmente presentada en Boga (2010).

Materiales y métodos

En las campañas 2009/10 y 2010/11 se instalaron diez ensayos de fertilización fósforo-azufrada en las localidades Mechongué, Lobería, Tandil, y Chillar representando la Zona Mar y Sierras (ZMyS) con mayor potencialidad para el cultivo y en Cascallares, Irene, San Cayetano, González Chávez y Tres Arroyos correspondientes a la Zona Mixta Cerealera (ZMC) caracterizada por ambientes de menor potencialidad para el cultivo.

Para todos los sitios y años los ensayos se condujeron bajo sistemas de siembra directa (SD) (**Tabla 1**).

Los tratamientos evaluados fueron: 1) Testigo (T); 2) Fósforo (P) aplicado como fosfato monoamónico (FMA, 10% N y 22.5% P); y 3) Fósforo + Azufre (PS), aplicado mediante una mezcla de 40% de superfosfato simple (SFS, 9% P y 12% S) + 60% de FMA en la campaña 2009/10 y como MES10™ (12% N, 17.4% P y 10% S, Mosaic de Argentina) en la campaña 2010/11 (**Tabla 1**).

En todos los sitios, los tratamientos se dispusieron en bloques completos aleatorizados con repeticiones. En la ZMyS, los ensayos fueron realizados en parcelas de 5x3.2 m con cuatro repeticiones por tratamiento mientras que en la ZMC se realizaron parcelas de 8 m de ancho por 300 m de largo, con tres repeticiones por tratamiento. En pre-siembra se muestrearon los sitios para caracterizar nutricionalmente los ambientes. Los sitios de ZMyS se cosecharon con maquinaria experimental, mientras que los sitios de ZMC fueron cosechados con máquina de productor pesando con carro balanza. Los rendimientos fueron corregidos a humedad comercial (13%).

Resultados

Los niveles de P Bray del suelo de los sitios evaluados abarcan un amplio rango de disponibilidades (**Tabla 1**). Los sitios de San Cayetano e Irene presentaron niveles muy por encima de 11-13 ppm, rango considerado como suficiente para alcanzar el 90% del rendimiento máximo del cultivo (García et al., 2005). El nivel de P Bray en los sitios de Lobería, Tandil, Cascallares y Tres Arroyos fue cercano o dentro del rango crítico, mientras que G. Chávez, Mechongué y Chillar presentaron valores inferiores al nivel crítico. Los niveles de S-sulfatos encontrados superficialmente (0-20 cm) están por debajo de 10 ppm en todos los sitios, valor considerado como umbral de respuesta en algunas referencias nacionales e internacionales (García et al., 2009; García et al., 2010).

Las precipitaciones registradas en ambas zonas ZMC y ZMyS para la campaña 2009 fueron adecuadas durante todo el ciclo del cultivo mientras que para la campaña 2010 fueron adecuadas para la implantación y desarrollo vegetativo del cultivo pero fueron menores que en la campaña precedente durante los meses de febrero y marzo (fase crítica R5-R6) (**Tabla 2**).

¹ Mosaic Fertilizantes. Ruta 227 km 7.5 - (7631) Quequén, Buenos Aires. Correo electrónico: laureano.boga@mosaicco.com

Tabla 1. Características de los sitios, análisis de suelos a la siembra y dosis de nutrientes aplicados en los tratamientos de fertilización. Ensayos Campaña 2009/10 y 2010/11 sudeste de Buenos Aires. Fósforo (P), Azufre (S), Materia orgánica (MO).

Campaña		-----2009/10-----					-----2010/11-----				
Sitio	Lobería	Mechongué	Tandil	Irene	San Cayetano	G. Chávez	Cascallares	Tandil	Chillar	Tres Arroyos	
Antecesor	Trigo	Trigo	Girasol	Avena	Trigo/Soya	Trigo/Soya	Cebada	Trigo/Soya	Trigo/Soya	Trigo/Soya	
Fecha de siembra	14/12/2009	12/12/2009	24/11/2009	04/12/2009	30/10/2009	30/10/2009	27/10/2009	06/12/2010	07/12/2010	08/12/2010	
Variedad	Nidera 3700	Nidera 3701	Nidera 3702	Don Mario 4200	Don Mario 3800	Don Mario 4600	Nidera 4209	ACA	ACA	ACA	
----- Características de los sitios -----											
----- Análisis de suelo a la siembra -----											
P Bray (ppm)	15	8	12	19	24	10	12	12	10	12	
MO (%)	4.6	4.4	5.1	2.9	3.7	5.2	3	4.8	5.6	4.8	
S-Sulfatos, 0-20 cm (ppm)	8	5	6	7	4	9	7	4	7.9	4	
S-Sulfatos, 20-40 cm (ppm)	9	5	8	-	-	-	-	4	5.1	4	
----- Dosis de nutrientes, kg ha ⁻¹ -----											
P	15	15	15	10	10	10	10	15	15	15	
PS	15P+8S	15P+8S	15P+8S	10P+6S	10P+6S	10P+6S	10P+6S	15P+8S	15P+8S	15P+8S	

El rendimiento promedio de las localidades ensayadas durante los dos años fue de 3067 kg ha⁻¹, siendo el sitio Cascallares el de mayor rendimiento superando los 4000 kg ha⁻¹, y el sitio de Irene el de menor rendimiento con 1700 kg ha⁻¹. Se observaron respuestas significativas ($p \leq 0.05$) a la fertilización PS (Testigo vs. PS) en seis de los diez sitios ensayados (G. Chávez, Cascallares, Lobería, Tandil y Mechongué en 2009/10, y Chillar en 2010/11), sitios que presentaron niveles de P Bray debajo o en el rango crítico de P Bray para soja (Tabla 3). Los sitios sin respuesta a fertilización (San Cayetano e Irene en 2009/10 y Tandil y Tres Arroyos en 2010/11) presentaron valores de P Bray en el rango crítico o muy superiores al mismo. Las respuestas a la aplicación única de P (Testigo vs. P), se observaron en Lobería y Mechongué en

2009/10. La aplicación de S con base de P (P vs. PS), mostró respuestas significativas en Chillar en

Tabla 2. Precipitaciones mensuales promedio en la Zona Mar y Sierras, y Mixta Cerealera, noviembre a marzo (Campañas 2009/10 y 2010/11).

Mes	--- Mar y Sierras ---		--- Mixta Cerealera ---	
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11
Noviembre	70	115	79	193
Diciembre	121	33	109	32
Enero	89	185	93	156
Febrero	107	24	244	59
Marzo	203	22	90	55
Noviembre-Marzo	590	378	615	495

Tabla 3. Rendimiento de soja para los tres tratamientos evaluados en los sitios de ensayo en el sudeste de Buenos Aires. Campaña 2009/10 y 2010/11.

Campaña	Sitio	----- Rendimiento ¹ -----			CV %	Valor P
		Testigo	P	PS		
2009/10	Lobería	3282 b	2808 a	3061 a	8.20	0.0035
	Mechongué	2712 b	3276 a	3538 a	9.70	0.0004
	Tandil	3305	3490	3521	3.90	0.04
	Irene	1724	1806	1769	6.30	0.47
	San Cayetano	2276	2141	2192	5.20	0.09
	G. Chávez	3701 b	3760 ab	3878 a	2.80	0.03
	Cascallares	3947 b	4003 ab	4218 a	5.10	0.1
2010/11	Tandil	2983 b	3368 a	2834 a	9.26	0.064
	Chillar	2095 b	2985 b	3493 a	3.07	0.0001
	Tres Arroyos	3086	3318	3525	9.05	0.171

¹ Rendimientos con letras distintas, para un mismo sitio, difieren significativamente entre sí.

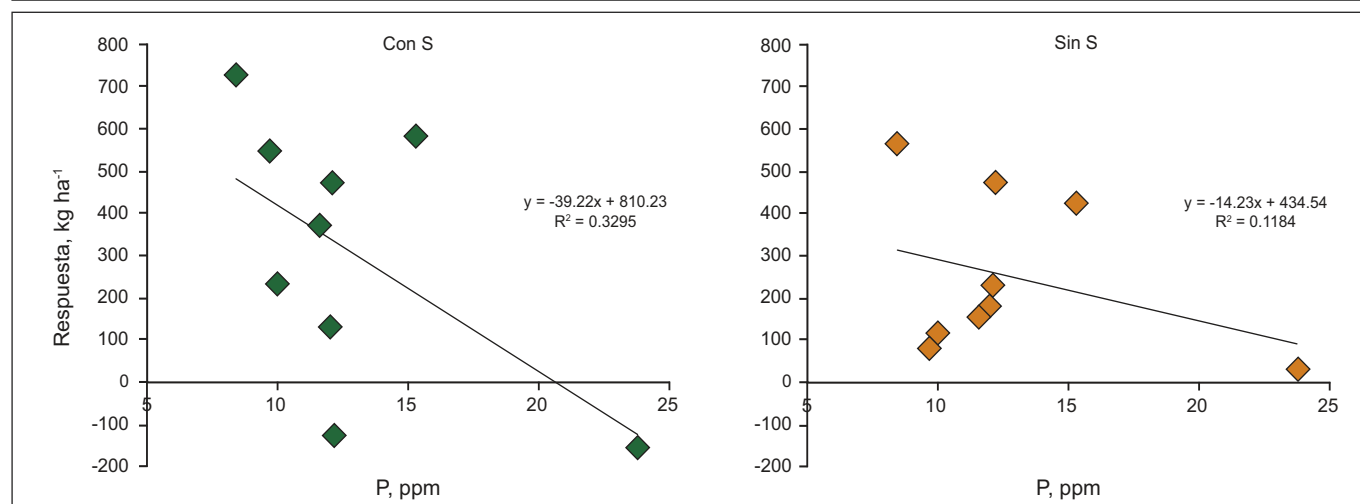
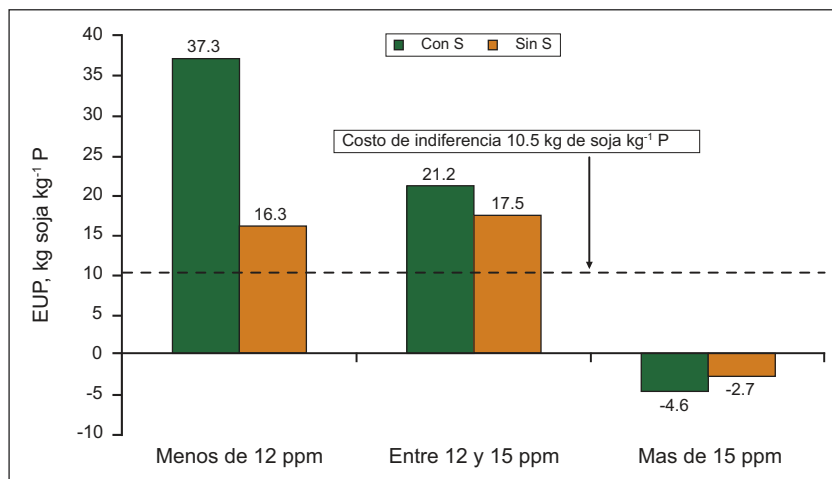


Figura 1. Asociación entre la respuesta a P y el nivel de P de suelo con y sin S para los diez sitios de ensayo en el sudeste de Buenos Aires. Campaña 2009/10 y 2010/11.



Conclusiones

Se observaron respuestas significativas a la fertilización PS en seis de los diez ensayos realizados en las campañas 2009/10 y 2010/11.

Las respuestas a P se relacionaron con el nivel de P Bray solo cuando el P fue acompañado de S y resultaron económicas con P Bray menor de 15 ppm para las relaciones insumo/producto a julio 2011.

Se observaron respuestas económicas a S agregado junto con el P a la siembra en siete de los diez ensayos, pero la respuesta a S no se pudo relacionar con la disponibilidad de S-sulfatos o el nivel de MO.

Agradecimientos

A Ana Jensen por su excelente trabajo de conducción en condiciones de campo de estos ensayos. A los colegas Juan Passarotti, Juan Pedro Jensen, Gustavo Thiessen y Jorge Ramirez por poner a disposición sus campos y personal. A Matias Ruffo por el análisis de la información. Al equipo de Agrar del Sur por la conducción de los sitios de Mechongué, Tandil y Loberia.

Bibliografía

Berardo, A. y N. Reussi Calvo. 2009. Pautas para el manejo de la fertilización en soja. www.laboratoriofertilab.com.ar.

Figura 2. Eficiencia de uso de P (EUP) (kg soja kg⁻¹ P) con y sin S según categoría de P Bray para los diez sitios de ensayo en el sudeste de Buenos Aires. Campaña 2009/10 y 2010/11.

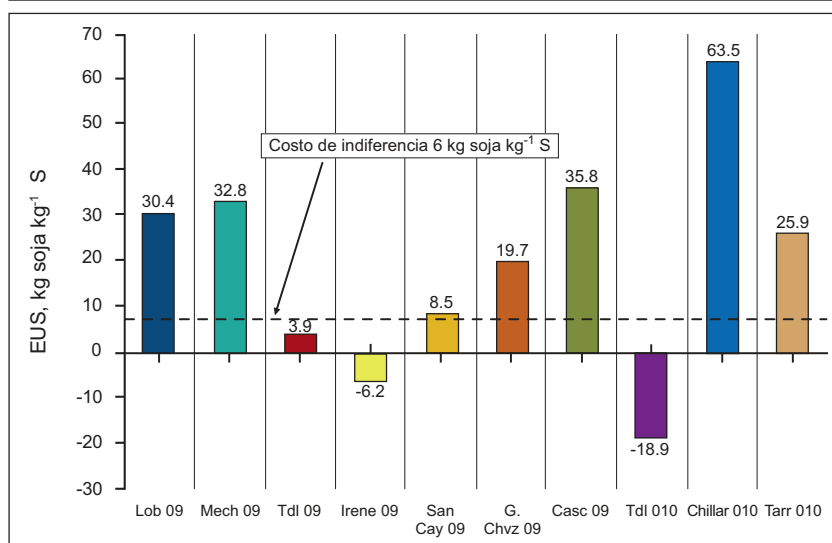


Figura 3. Eficiencia de uso de S (EUS) (kg soja kg⁻¹ S) para los diez sitios de ensayo en el sudeste de Buenos Aires. Campañas 2009/10 y 2010/11.

2010/11. El nivel de P Bray explicó el 33% de la respuesta a P cuando este fue aplicado con S (relación Rendimiento Testigo/Rendimiento PS) mientras que solo explicó el 11% de dicha respuesta cuando el P se aplicó solo (relación Rendimiento Testigo/Rendimiento P) (Figura 1). De este modo, y considerando los ajustes mencionados, se separaron los sitios con diferente eficiencia de uso de P. La Figura 2 muestra que los sitios con nivel de P Bray inferior a 12 ppm registraron eficiencias de uso de P (EUP) de 37.3 kg de soja por kg de P aplicado con S y 16.3 kg de soja por kg de P cuando este fue aplicado sin S, en ambos casos EUPs superiores al costo de 10 kg de soja por kg de P (valores julio 2011). Con niveles de P Bray de 12 a 15 ppm, la EUP promedio fue menor pero aun superior al costo, mientras que en sitios con P Bray superior a las 15 ppm, la EUP no superó el costo del tratamiento.

Las respuestas a S no se relacionaron con el nivel de S-sulfatos o de materia orgánica (MO). Sin embargo, la eficiencia de uso de S superó al costo de indiferencia de 6 kg de soja por kg de S en siete de los diez sitios evaluados (Figura 3).

Boga, L. 2010. Fertilización del cultivo de soja en el sudeste bonaerense: Resultado de ensayos en la campaña 2009/10. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. 47:10-12.

García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, I. Ciampitti, A. Correndo, F. Bauschen, A. Berardo, y N. Reussi Calvo. 2010. *La Red de Nutrición de la Región Crea Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros diez años 2000-2009*. 2ª Edición. AACREA. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-1513-07-9. 64p.

García, F., I. Ciampitti, y H. Baigorri (ed.). 2009. *Manual de manejo del cultivo de soja*. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. 180p.

García, F., L. Picone, y A. Berardo. 2005. Fósforo. In H. Echeverría y F. García (ed.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos*. Editorial INTA. Buenos Aires, Argentina. pp.99-121.*

FERTILIZACIÓN DE CEBADA CERVECERA EN AMBIENTES CON TOSCA EN EL SUR DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Fernando Ross¹, José Massigoge¹ y Martín Zamora¹

Introducción

En la zona de influencia de la Chacra Experimental de Barrow, la superficie destinada a cebada representa aproximadamente el 29% del total del área cultivada con cereales de cosecha fina, siendo el trigo el cultivo principal. No obstante, en el partido de Coronel Dorrego, el cultivo de cebada alcanza un 50% del área destinada a cultivos de cosecha fina. Claramente, la elección de los productores refleja la capacidad o los requerimientos ambientales de cada cultivo. Varias publicaciones coinciden que, en condiciones limitantes, las ventajas ecofisiológicas del cultivo de cebada le otorgan mayor productividad y estabilidad respecto del cultivo de trigo (Loewy y Ron, 2001; Zamora, 2001; Wehrhanhe, 2008; Giménez et al. 2008; Abeledo et al., 2008). Sin embargo, el destino principal de la producción de cebada está orientado a la maltería, con requerimientos de granos grandes y contenido proteico medio, requisitos que en ciertas campañas, no se pueden cumplir, por lo que el destino de los granos pasa a ser forrajero. Por esto, es necesario evaluar y determinar las necesidades del cultivo, su interacción con el ambiente y las pautas de manejo para lograr el rendimiento y la calidad requeridos.

En los sistemas productivos actuales, la siembra directa determina una reducción en tasa de mineralización de la materia orgánica (MO), favoreciendo la respuesta a la aplicación de fertilizantes. Los efectos de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de cebada han sido estudiados previamente. Sin embargo, los resultados obtenidos en nuestra región presentan una gran variabilidad (Rausch et al., 2003; Loewy et al., 2008; Ross et al., 2010a). El rendimiento de las nuevas variedades de cebada presenta una mayor respuesta a la aplicación de nitrógeno (N) (Prystupa, 2005), el cual se relaciona con un avance en la capacidad de fijación de granos por unidad de superficie. Bajo esta condición, la producción de cebada en ambientes con estrés puede determinar efectos adversos sobre la calidad de los granos (Ross et al., 2010b). El estrés durante el llenado de granos produce incrementos en la concentración de proteína (Rausch et al., 2003; Prystupa, 2005; Prystupa et al., 2008; Ross et al., 2010b), y una reducción del peso individual del grano (Ross et al., 2010a). Este efecto es de radical importancia porque el calibre alcanzado por los granos se relaciona directamente con el peso por grano.

Entonces, en ambientes con mayores limitaciones, el impacto negativo de la fertilización nitrogenada sobre el calibre del grano es notoriamente superior (Ross et al., 2010b).

Estos conceptos ponen de manifiesto la necesidad de realizar un diagnóstico de los niveles de fertilización nitrogenada requeridos según la capacidad del ambiente. Además, la agricultura sitio-específica va incrementando la demanda de información sobre indicadores de sitio, evaluaciones *in-situ* y toda información sobre mecanismos e interacciones del cultivo con el ambiente y el manejo.

Materiales y métodos

Durante las campañas agrícolas 2008/09, 2009/10 y 2010/11 se realizaron experimentos de fertilización en Aparicio (A), San Francisco de Bellocq (B), Claromecó (C) y Coronel Dorrego (D). En cada sitio se seleccionó un lote por año, y dentro de cada lote se seleccionaron dos ambientes: somero (s) y profundo (p) en Aparicio, Claromecó y Coronel Dorrego, y bajo y loma en Bellocq. En cada uno de estos ambientes se realizó el mismo ensayo de fertilización (Tabla 1), conformando un total de 24 ensayos (3 años x 4 localidades x 2 ambientes). Se utilizó un diseño en bloques aleatorizados con cuatro repeticiones, realizando el análisis estadístico con el modelo de efectos mixtos (Proc Mixed) de SAS.

Tabla 1. Dosis de nitrógeno (N) y azufre (S) expresadas en kg ha⁻¹, aplicados en macollaje y espigazón, según tratamiento*

Tratamiento	N macollaje	S macollaje	N espigazón
	----- Dosis de N, kg ha ⁻¹ -----		
1	0	0	0
2	50	0	0
3	100	0	0
4	150	0	0
5	50	15	0
6	100	15	0
7	150	15	0
8	50	0	20
9	100	0	20
10	150	0	20

* El N a macollaje se aplicó en forma de UAN, en los tratamientos con S se aplicó mezcla líquida de UAN con tiosulfato. En espigazón se aplicó urea líquida de bajo contenido de biuret.

¹ Chacra Experimental Integrada Barrow. Casilla de correo 50 (7500), Tres Arroyos. Correo electrónico: fross@correo.inta.gov.ar

Durante los tres años de experimentación en los sitios con tosca (Coronel Dorrego, Aparicio y Claromecó), el antecesor fue trigo, a diferencia de Bellocq donde fue girasol en los dos primeros años y pastura en el último. La mayoría de los cultivos fueron sembrados en el mes de junio.

Para caracterizar los ambientes se midieron las siguientes variables de sitio: precipitaciones, determinaciones analíticas del suelo (MO, nitratos, humedad a la siembra) y profundidad a la tosca (Tabla 2). La evaluación de la profundidad de la tosca se realizó en forma intensiva, efectuando tres mediciones por unidad experimental. En todos los ensayos se aplicaron dosis suficientes de fertilizantes fosfatados para evitar limitaciones por deficiencia de fósforo.

Las variables de cultivo evaluadas fueron el rendimiento y sus componentes (número de granos por unidad de superficie y peso por grano), la partición ó índice de cosecha (IC), el porcentaje de proteína en granos, el calibre y la proporción de granos bajo zaranda de 2.5 mm.

Resultados

Las precipitaciones en el ciclo del cultivo resultaron escasas durante los años 2008/09 y 2009/10. Las lluvias ocurridas en el barbecho durante el 2008 en las localidades de Claromecó y Bellocq resultaron superiores

a lo normal. En el año 2010, las precipitaciones tanto en el barbecho como en el ciclo del cultivo resultaron equilibradas y suficientes para alcanzar una buena producción (Tabla 3). Si bien el barbecho se consideró desde principio de enero, para el caso de Bellocq debemos considerar que parte de lo acumulado fue utilizado por el cultivo de girasol.

Efectos en el rendimiento

La mayoría de los efectos evaluados (año, localidad, ambiente, tratamiento) afectaron el rendimiento, la proteína y el calibre. Muchas interacciones fueron significativas, es decir la respuesta a un efecto (en particular N) fue diferente ante variaciones de otros efectos. Por ejemplo, el N aplicado en macollaje afectó significativamente el rendimiento, pero su efecto fue diferente entre localidades y entre años. Interacciones equivalentes ocurrieron sobre la proteína y el calibre. Otro efecto significativo sobre el rendimiento fue el N foliar (espigazón, Ne), el cual afectó la proteína con interacción triple Año*Localidad*Ne. El efecto del S sobre el rendimiento, proteína y calibre no fue significativo en forma generalizada; sin embargo, la significancia de la interacción Año*Localidad*S sobre la proteína se debe a que afectó positivamente el contenido proteico en algunas localidades durante el 2008 (datos no mostrados). Estos resultados nos obligan a analizar sitio por sitio cada año,

Tabla 2. Características de suelo de cada uno de los sitios evaluados. Ns = nitrógeno de nitratos en el suelo para el estrato 0-60 cm, expresado en kg ha⁻¹, MO = materia orgánica para el estrato 0-20 cm, expresada en %, Pro-T = profundidad a la tosca, expresada en cm.

Sitio	----- 2008 -----			----- 2009 -----			----- 2010 -----		
	Ns kg ha ⁻¹	MO %	Pro-T cm	Ns kg ha ⁻¹	MO %	Pro-T cm	Ns kg ha ⁻¹	MO %	Pro-T cm
Dorrego Profundo	86	4	69	83	3.3	53	51	3.4	40
Dorrego Somero	102	3.4	45	94	3.4	41	35	3.8	82
Aparicio Profundo	121	2.7	77	54	2.8	101	57	3.5	46
Aparicio Somero	107	3.2	47	38	2.4	69	35	2.7	72
Claromecó Profundo	70	4.2	>100	71	4.2	>100	28	3.5	88
Claromecó Somero	87	2.9	56	47	4.0	58	27	3.7	73
Bellocq Bajo	88	4.2	>100	51	3.2	>100	95	4.5	>100
Bellocq Loma	85	4.4	>100	67	3.6	>100	111	4.4	>100

Tabla 3. Precipitaciones por año y localidad.

Localidad	----- 2008 -----		----- 2009 -----		----- 2010 -----	
	Barbecho	Ciclo	Barbecho	Ciclo	Barbecho	Ciclo
----- mm -----						
Dorrego	235	148	215	127	359	287
Aparicio	275	180	282	201	417	301
Claromecó	606	170	393	158	527	387
Bellocq	636	146	303	191	548	428

evaluando la influencia de las variables de sitio sobre la magnitud de la respuesta del cultivo.

Durante los años y sitios experimentados, la aplicación de dosis crecientes de N tuvo efectos positivos, neutrales y negativos sobre el rendimiento (Figura 1). En primer lugar, producto de que los efectos de la fertilización fueron diferentes entre años y localidades, debemos observar los resultados desagregados. En la localidad de Bellocq, la respuesta a la aplicación de N fue nula (Figura 1). La ausencia de respuesta durante las campañas 2008 y 2010 se debería a la presencia de pastura como antecesor dentro de los últimos dos años, habiendo aportado el suelo suficiente N para el cultivo (Tabla 2). En el año 2009, pese a menor cantidad de N en el suelo (Tabla 2), la respuesta estuvo limitada por estrés hídrico y térmico durante el llenado. Finalmente, en el año 2010, en el sitio Bellocq bajo se observó vuelco generalizado en los tratamientos fertilizados, provocando efectos depresores sobre el rendimiento (Figura 1).

Durante el 2009, año de menores precipitaciones (Tabla 3), se observó un efecto negativo sobre el rendimiento por la aplicación de dosis altas de N en los sitios Dp, Ds, Ap, As, y Cs (Figura 1), producto del déficit hídrico. Es decir, la estimulación del consumo hídrico temprano por la fertilización con altas dosis de N determinó que la limitación hídrica en el llenado fuese más intensa. No obstante, debemos considerar que los primeros 50 kg ha⁻¹ de N generaron una respuesta nula o positiva.

En el año 2008, en el sitio Cp no hubo respuesta a la adición de N (Figura 1), producto de que el ensayo se ubicó en las cercanías del arroyo Claromecó, sitio con buena profundidad y bien provisto de MO (Tabla 1). Los restantes sitios con tosca sin respuesta fueron Dp2008, Ds2008, As2008-10, y Cs2008. Contrariamente, los sitios con respuesta fueron Dp2010, Ds2010, Ap2008-10, Cp2009-10, y Cs2010 (Figura 1). En una primera aproximación, se observa que la frecuencia de respuesta es mayor en los sitios profundos y en el año de mayor precipitación.

Vale la pena aclarar que no necesariamente el sitio profundo rindió siempre más que el somero. Podemos ver en la Figura 1 la interacción positiva Año*Sitio. Durante los años 2008 y 2009, los sitios someros de las localidades de Dorrego y Aparicio tuvieron rendimiento

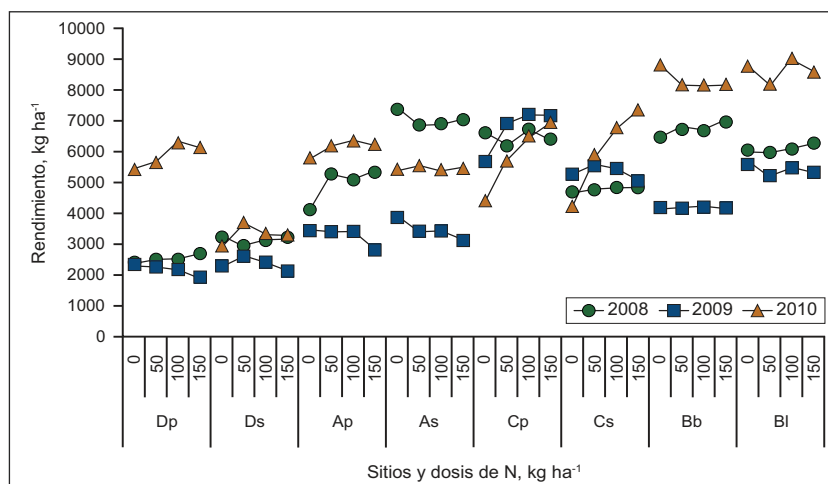


Figura 1. Rendimiento en función de la dosis de N aplicado en macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo, Bl = Bellocq Loma (somero)).

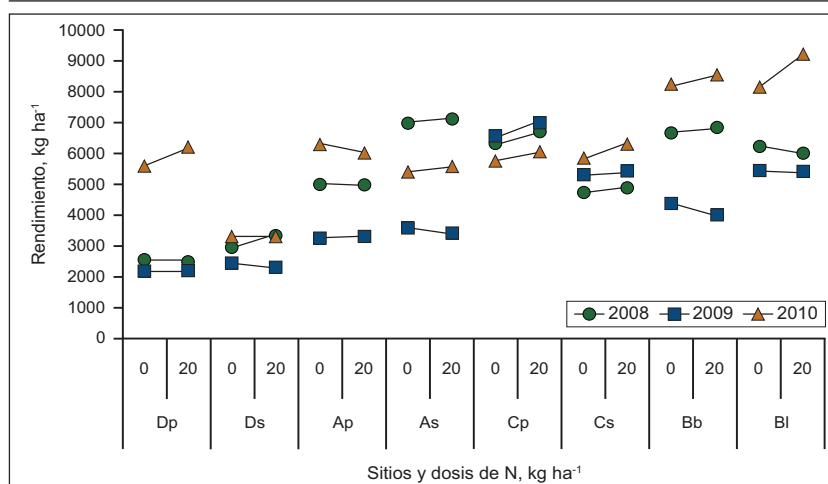


Figura 2. Rendimiento en función de la dosis de N foliar aplicado en espigazón, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

semejante a los sitios profundos, producto de la escasez de precipitaciones acumuladas en el barbecho y durante las primeras etapas del ciclo (Tabla 3). En cambio, durante el año 2010, en ambas localidades, los sectores profundos rindieron más que los someros. Esto mismo ocurrió en la localidad de Claromecó en los años 2008 y 2009, dado que el sitio profundo expresó su capacidad extra para almacenar agua cuando las precipitaciones sobrepasaron la capacidad del sitio somero, pudiendo hacer uso de esta en los momentos deficitarios.

Como se observa en la Figura 2, la mayor frecuencia de respuesta en rendimiento a la aplicación de N en espigazón se observó en el año 2010. No obstante, podemos considerar que la mitad derecha de las localidades de la Figura 2 tienen mayor frecuencia de respuesta (interacción triple; Año*Localidad*Ne, p=0.09).

Efectos en la calidad

Los efectos de la fertilización con N en macollaje sobre la calidad resultaron notorios y mayores a los efectos mencionados sobre rendimiento (Figuras 3, 4 y 5). En la Figura 3, podemos observar que las mayores respuestas en proteína están en la mitad izquierda (Dorrego y Aparicio), relacionado a menores rendimientos de estos sitios. En estos casos vemos que dosis crecientes de N incrementaron el nivel de proteína incluso en el año 2010, cuando la respuesta en rendimiento fue muy significativa (Figura 1 y 3). Por otro lado, en la mitad derecha de la Figura 3 se observa que, a excepción de C-2008, los incrementos en concentración de proteína son inferiores pero significativos. En estos casos, la magnitud de la respuesta en rendimiento o los niveles de rendimientos alcanzados actuaron diluyendo los aportes de N provistos con la fertilización. Si bien, no hubo respuesta en rendimiento en los sitios de Bellocq (Figura 1), la fertilización nitrogenada en macollaje aumentó los niveles de proteína (Figura 3). En 2008 en Bellocq, la excesiva humedad del suelo al momento de aplicación del N y la ocurrencia de una lluvia de magnitud luego de la aplicación habrían favorecido la lixiviación y ausencia de respuesta en rendimiento y proteína (Figuras 1 y 3).

Si consideramos el N, proviniera de la suma del N del suelo evaluado a la siembra más el aplicado mediante la fertilización, necesario para alcanzar un nivel de proteína de 11%; durante el 2008 fueron requeridos 39 kg de N t⁻¹ de grano, en el 2009 se incrementó a 42.1 kg de N t⁻¹ de grano y en el 2010 resultó de 27.5 kg de N t⁻¹ de grano. Debemos adicionar que en los años secos (2008 y 2009) se observó un alto nivel inicial de N en el suelo y se obtuvieron bajos rendimientos. No obstante, estos datos nos muestran lo ineficiente que fue el cultivo en años secos para capturar el N aplicado. Si bien, no se efectuaron análisis, el nivel de N remanente en el suelo al final del ciclo del cultivo resultaría elevado.

En la Figura 3 podemos ver que en todos los casos la fertilización con N a la siembra fue suficiente para alcanzar 11% de proteína. Sin embargo, se logró una respuesta promedio de 0.8% de incremento

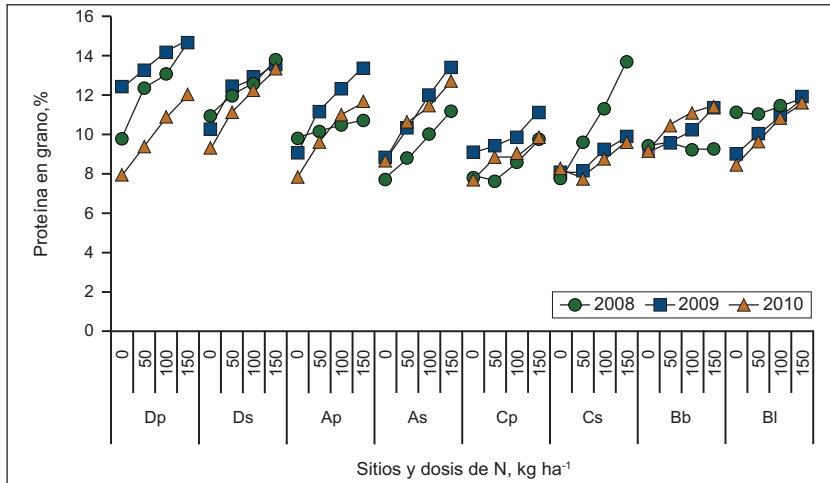


Figura 3. Proteína en función de la dosis de N aplicado en macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

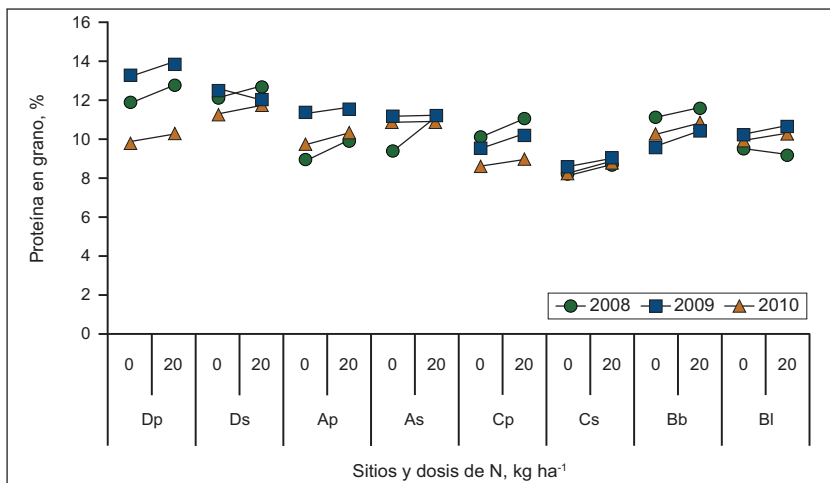


Figura 4. Proteína en función de la dosis de N aplicado en macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

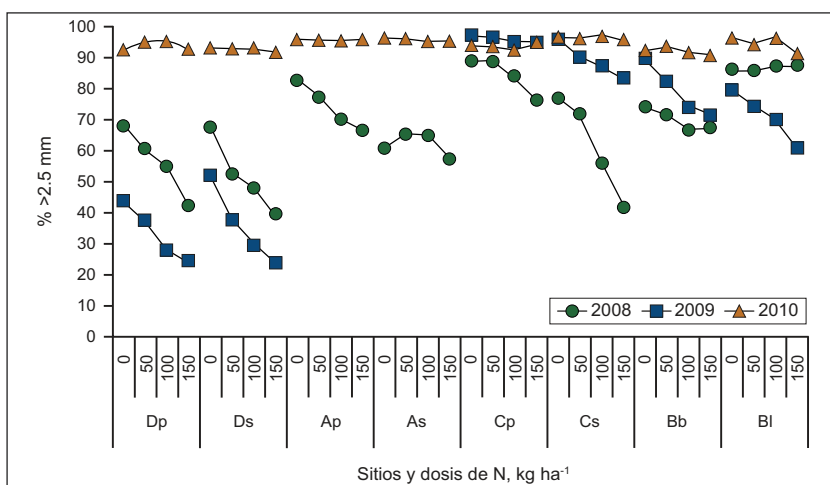


Figura 5. Calibre en función de la dosis de N aplicado al macollaje, año y sitio evaluado (Dp = Dorrego Profundo, Ds = Dorrego Somero, Ap = Aparicio Profundo, As = Aparicio Somero, Cp = Claromecó Profundo, Cs = Claromecó Somero, Bb = Bellocq Bajo (profundo), Bl = Bellocq Loma (somero)).

de la proteína en granos con la aplicación de 20 kg ha⁻¹ de urea foliar en espigazón. Estos incrementos están combinados con los aumentos de rendimiento alcanzados en los sitios de mayor producción (220 kg ha⁻¹, **Figura 2**).

La aplicación de N afectó el calibre de los granos con una fuerte interacción con año y sitio (**Figura 5**). Notoriamente en los años 2008 y 2009, en Dorrego y Aparicio y en Claromercó somero 2008 y Bellocq bajo 2009 se observaron las reducciones más grandes del calibre por efecto de la aplicación de N. Estos sitios se caracterizaron por baja respuesta en rendimiento y alta respuesta en proteína ante el agregado de N (**Figuras 1 y 3**). Para el resto de los sitios, en las campañas 2008 y 2009, los efectos sobre el calibre fueron menores. Por último, durante el 2010, los efectos del N sobre el calibre resultaron nulos por la presencia de buenas precipitaciones en el llenado de los granos (**Figura 5; Tabla 2**).

En todos los años y sitios, la aplicación de N produjo incrementos en el número de granos por unidad de superficie (datos no mostrados). Según el sitio, cuanto mayor fue la limitación durante la etapa de llenado, los incrementos en el número de granos se relacionaron con menores pesos individuales (por grano). El calibre fue una variable dependiente del peso por grano. En el año 2010 no hubo efectos de la fertilización nitrogenada sobre el calibre. Sin embargo, en el 2008 y 2009, con balance superior a 22 kg de N t⁻¹ de grano, el calibre se reducía linealmente debajo del 80%. Llegando en muchos casos a una situación de compromiso, con el aporte de N de fertilizante necesario para niveles de 11% de proteína, el calibre resultó en niveles inferiores al 60%.

Conclusiones

El rendimiento del cultivo de cebada fue significativamente afectado por la fertilización nitrogenada. Sin embargo, la magnitud de la respuesta varió entre años y sitios evaluados. La profundidad del suelo, que afecta el nivel de reserva de agua a la siembra, constituyó otro factor de importancia, afectando el nivel de producción. Entre los casos evaluados, los lotes que tuvieron un buen barbecho y colmaron su capacidad de almacenaje de agua presentaron los mayores rendimientos. Sin embargo, fueron las precipitaciones desde mediados del ciclo del cultivo las que afectaron la eficiencia de uso del N del fertilizante. En los ambientes someros (con tosca), con buenas precipitaciones desde mediados de ciclo se determinó un requerimiento de 28 kg de N t⁻¹ de cebada para alcanzar 11% de proteína, sin afectar el calibre de los granos.

Los resultados nos muestran que para realizar un programa de fertilización es necesario realizar un análisis de suelo por ambiente. Luego, debemos integrar este resultado con la historia del lote, considerando los últimos antecesores y su productividad. Las mayores concentraciones de N se encontraron cuando hubo pastura uno o dos años atrás, o producto de un mal

rendimiento del cultivo anterior. También, debemos considerar el paquete tecnológico que se utilizó en el lote durante el año previo y la posibilidad de lavado o lixiviación por lluvias abundantes durante el barbecho.

Agradecimientos

A los productores que colaboran con sus lotes, al laboratorio de granos de la Chacra Experimental de Barrow y a la empresa Bunge-PASA, proveedora de los fertilizantes líquidos.

Bibliografía

- Abeledo, L., C. Mignone, y D.J. Miralles. 2008 Rendimiento comparado y contenido de proteína en grano en trigo y cebada cervecera en respuesta a la disponibilidad de nitrógeno y azufre. VII Congreso Nacional de Trigo, La Pampa. MF33.
- Giménez, F., F. Moreyra, V. Conti, y J.C. Tomaso. 2008. Comparación del rendimiento de variedades de cereales de invierno. VII Congreso Nacional de Trigo, La Pampa. MF36.
- Loewy, T., y M.M. Ron. 2001. Componentes de rendimiento en trigo y cebada cervecera bajo distintos niveles nutricionales. V Congreso Nacional de Trigo, Villa Carlos Paz. 7p.
- Loewy, T., R. Bergh, G. Ferraris, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem, P. Prystupa, y L. Couretot. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv Scarlett: I. Efecto del nitrógeno basal. XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes (SL). Manejo y conservación del agua y suelo, riego y drenaje. 234p.
- Prystupa, P. 2005. Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. Editores: Echeverría H. y García F. Grancharoff Impresores. Capítulo 15, 317p.
- Prystupa, P., G. Ferraris, T. Loewy, R. Bergh, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem y L. Couleot. 2008. Fertilización de cebada cervecera cv Scarlett: IV. Estimación de la respuesta del contenido proteico a la fertilización nitrogenada. XXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Potrero de los Funes (SL). Manejo y conservación del agua y suelo, riego y drenaje. 239p.
- Rausch, A., A. Lazzari, y M.R. Landriscini. 2003. Disponibilidad de nitrógeno en el suelo y su influencia en el rendimiento de este cultivo con buena calidad Maltera. Fertilizar No 32, septiembre 2003. pp.13-17.
- Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2010a. Efectos del ambiente y la fertilización en cebada cervecera cv Scarlett: I Rendimiento. XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Rosario. 142p.
- Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2010b. Efectos del ambiente y la fertilización en cebada cervecera cv Scarlett: II Calidad. XXII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Rosario. 148p.
- Wehrhanhe, L. 2008. Evaluación comparativa de rendimiento y calidad de avena, cebada y trigo. VII Congreso Nacional de Trigo, La Pampa. S-21p.
- Zamora, M. 2001. Comportamiento de trigo y cebada cervecera ante condiciones de estrés hídrico. Página Web CHEI Barrow.*

CÓMO PROMOVER UN USO SUSTENTABLE DEL RECURSO SUELO EN URUGUAY¹

Alejandro Morón²

La intensificación productiva

En la última década, el sector agropecuario del Uruguay ha atravesado, globalmente, un proceso de intensificación productiva. Este proceso es diferente para los distintos sistemas de producción y rubros. En las producciones extensivas, sin desconocer que existen otros rubros, se destacan la producción de granos (**Figura 1**) y la producción lechera.

La intensificación en la producción de granos se puede caracterizar por incrementos en la cantidad de cultivos por unidad de superficie por año, el aumento de rendimiento de la mayoría de los cultivos, la presencia de la soya, la expansión del área agrícola, el uso de fertilizantes y agroquímicos (en especial el glifosato) en los suelos con menor aptitud agrícola, y la adopción de la siembra directa. En contrapartida, en el área agrícola disminuyen el número de productores y el área de pasturas dentro de las rotaciones agrícolas.

Por otra parte, en el proceso de intensificación de la producción lechera se incrementa la producción total de leche, la producción de leche por unidad de superficie, los litros de leche producidos por vaca, la cantidad de vacas en ordeño, la dotación animal y la suplementación con granos. Paralelamente, disminuyen el número de productores y la superficie total dedicada a la producción lechera.

El impacto ambiental

Es claro que la opinión pública nacional e internacional presta una atención creciente a los problemas ambientales. Los procesos descritos anteriormente generan una serie de interrogantes sobre la sustentabilidad de la intensificación respecto de los impactos ambientales. Estos impactos pueden ser sobre la atmósfera, el agua superficial y profunda, y también sobre el mismo suelo. Este artículo se centrará sobre los impactos en el recurso suelo, sin desconocer que existen otros impactos.

Los principales procesos que determinan el deterioro de los suelos en la producción agrícola y lechera en Uruguay son la erosión, los balances negativos de carbono (C) y nitrógeno (N) y la pérdida de porosidad (compactación). Sin lugar a dudas, la erosión es un proceso de importancia que fue determinante en el deterioro de la calidad de los suelos agrícolas en Uruguay debido al prolongado período en que se hizo

agricultura con laboreo convencional. Recién a partir de los 90, con la adopción creciente de la siembra directa, las pérdidas por erosión disminuyeron pero no están completamente controladas.

Los balances de C y N son importantes ya que determinan el contenido de materia orgánica (MO) de los suelos. Es ampliamente conocido que el contenido de MO es un indicador central de la calidad de los suelos, que tiene una fuerte relación con las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos y, por ende, con su productividad. La erosión puede contribuir a acentuar los balances negativos de C y N, pero es importante comprender que aún sin erosión pueden ocurrir balances negativos para dichos elementos.

El enfoque oficial

Es limitado el conocimiento cuantitativo sobre el estado actual del nivel de deterioro de los suelos en Uruguay. La información oficial del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) más utilizada a nivel de país es semi-cuantitativa y surgió en base a fotointerpretación del proceso erosivo a partir de fotografías áreas tomadas en la década del '60. En la década del '90 se realizó una actualización, con otra metodología, sobre el efecto de la erosión. Ambos trabajos coinciden en que aproximadamente hay un 30% de la superficie del país con algún grado de afectación por la erosión.

¿Existe preocupación oficial sobre la sustentabilidad del recurso suelo? Si nos remitimos a la normativa legal vigente la respuesta es afirmativa. En 1981 se promulgó la ley 15 239 sobre "Uso y Conservación de Suelos" y posteriores decretos reglamentarios (333/2004 y 405/2008) y finalmente la ley 18 564 del 2009. Existe una concordancia conceptual en las distintas normativas vigentes que responde a una orientación técnica ya que las mismas se generaron durante distintos períodos de gobierno.

Resumiendo, la normativa legal apela a un uso racional del suelo, identifica los procesos de erosión (con fuerte énfasis y amplios detalles) y degradación, hace responsable al usuario a cualquier título y pone al propietario como responsable solidario. Además menciona la exigencia de planes de uso y manejo responsable y finalmente prevé sanciones económicas e inhabilitación para producir para quienes incumplan la normativa.

¹ Adaptado del artículo publicado en el Suplemento Agropecuario del diario El País de Montevideo, Uruguay, 29 de Junio del 2011.

² INIA La Estanzuela hasta 28/02/2011. Correo electrónico: alejandromoron@gmail.com

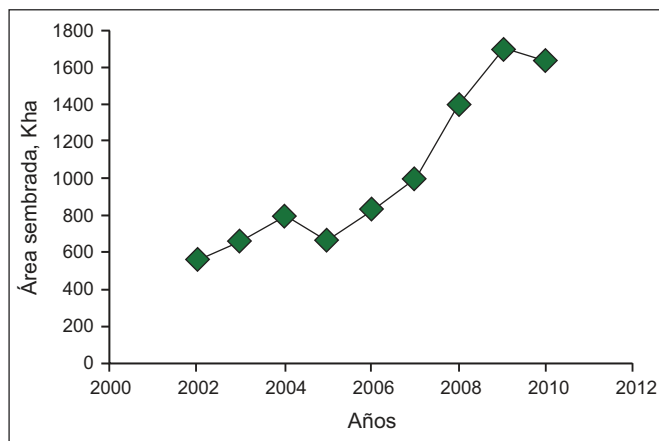


Figura 1. Evolución del área sembrada de cultivos de secano (invierno, verano) en Uruguay. Fuente: DIEA-MGAP, www.mgap.gub.uy.

¿Cuáles fueron los resultados de este marco legal? En términos generales se podría afirmar que, hasta el presente, han sido escasos. En los últimos tiempos, el MGAP ha tomado con mayor énfasis el tema, hecho claramente positivo, y se encuentra en proceso el requerimiento de los “Planes de Uso y Manejo de Suelo”. El punto central del Plan de Uso y Manejo del Suelo es que la rotación que será desarrollada en cada unidad de suelos cumpla con el requisito de que la erosión estimada por un modelo de simulación (USLE/RUSLE) sea inferior a un nivel crítico pre-establecido. Este modelo de simulación tiene origen en el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y ha tenido trabajos locales de validación con resultados razonables. Es una herramienta interesante, valiosa, cuyo mayor aporte tal vez sean las comparaciones relativas entre las diferentes alternativas de uso y manejo de los suelos más que en el valor absoluto de la estimación.

El modelo (USLE/RUSLE) puede necesitar algunos ajustes como, por ejemplo, tomar en cuenta que los coeficientes de erodabilidad en algunas importantes unidades de suelo necesitan ser revisados. La principal interrogante que surge es sobre la validez de montar a nivel nacional y oficial un sistema basado exclusivamente en los resultados de este modelo. Las principales limitaciones son: a) La erosión es uno de los procesos que afecta la calidad de los suelos y la sustentabilidad pero existen otros procesos como los balances de C y N que determinan los niveles de MO de los suelos; b) es difícil aceptar que un Plan de Uso y Manejo de Suelo tenga, como única exigencia, la predicción de un modelo sin considerar ninguna medida objetiva, cuantitativa, de ningún indicador de la calidad de los suelos en cuestión; y c) la adopción general de este enfoque se basa en que su incumplimiento genera sanciones económicas e inhabilitación de producir. Esto exige un importante control oficial sobre gran cantidad de planes y su cumplimiento en la realidad.

La aproximación de INIA La Estanzuela

Desde 2004, INIA La Estanzuela desarrolla un proyecto de investigación sobre la calidad de los suelos en producción agrícola y lechera que viene aportando información cuantitativa sobre diversos indicadores físicos, químicos y biológicos. Esta información ha sido motivo de presentación en diversos eventos y publicaciones respectivas [ver en www.inia.org.uy : Actividades de Difusión No. 455 (2006), No. 549 (2008), No. 556 (2008), No. 587 (2009), y No. 605 (2010)].

En noviembre del 2009, INIA La Estanzuela organizó un Seminario-Taller con el título “¿Es posible y útil mejorar el Índice CONEAT mediante la consideración del Factor Uso y Manejo de Suelos?”. En este evento se realizó una primera aproximación al tema planteándose el desafío de implementar un sistema de evaluación de la calidad del recurso suelo. Este sistema debería utilizar indicadores cuantitativos y objetivos. Además debería ser simple, aplicable a nivel predial y accesible para muchos usuarios. Finalmente, se proponía que los actores deberían ser inducidos a utilizarlo por su beneficio económico.

Esta aproximación tiene dos grandes componentes:

- **La utilización de CONEAT.** Como es conocido, CONEAT es una clasificación de los suelos del país que surgió con fines impositivos en la década del ‘60. Clasifica los suelos en áreas homogéneas definidas por la capacidad productiva de las pasturas naturales en términos de carne bovina, carne ovina y lana. Se asignó el índice 100 a la capacidad productiva media del país. En la práctica, se ha observado que tiene una fuerte relación con la aptitud agrícola de los suelos. Es muy significativo el hecho que CONEAT sea la clasificación de los suelos del país más utilizada a nivel productivo y comercial. Tiene una fuerte asociación con los precios tanto de venta como de arrendamiento de los campos. Si bien posee una serie de aspectos a mejorar, el índice CONEAT de los suelos es ampliamente utilizado por los diferentes agentes económicos. Entonces surge la interrogante: ¿es el índice CONEAT un Indicador de Uso y Manejo de Suelos? Respuesta: no, este índice distingue entre suelos que tienen diferente productividad según su naturaleza u origen. Pero el mismo no es dinámico, no refleja los cambios producidos por el uso y manejo del mismo. No existe una actualización periódica del mismo. Para mayor información sobre el índice CONEAT: www.cebra.com.uy/renare/coneat.
- **Los trabajos de INIA La Estanzuela en calidad de suelos.** A partir del año 2004 comienza una línea de trabajo sobre calidad de suelos, primero para el área lechera y posteriormente para el área agrícola. Para

el área lechera se trabajó en los departamentos de Colonia, San José y Florida. El trabajo incluyó un total de 165 potreros. Posteriormente, continuó en el área agrícola en los departamentos de Soriano y Río Negro. Dentro de los objetivos específicos se destacan el conocimiento cuantitativo del estado actual de los suelos en producción respecto de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Paralelamente, para tener una referencia y poder interpretar los resultados obtenidos, se obtuvieron los valores de esas mismas propiedades físicas, químicas y biológicas en los respectivos suelos indisturbados. Un sistema similar es utilizado en Nueva Zelandia para evaluar la calidad de los suelos por el *Landcare Research Institute* a través del sistema SINDI (*soil quality indicators*) está disponible en www.landcareresearch.co.nz

Del conjunto de indicadores probados surgieron como más importantes el contenido de C orgánico (principal constituyente de la MO), la capacidad de aporte de N del suelo (potencial de mineralización de N), el pH de los suelos (acidez), su textura (granulometría) y su macroporosidad (poros de mayor tamaño).

Como ejemplo se presenta la **Figura 2**, donde se observa la distribución del C orgánico para los suelos clasificados como Brunosoles vérticos y Vertisoles de la cuenca lechera. Los valores más comunes de C orgánico en los suelos de referencia o no disturbados estaban entre 2.68% (Q1, primer cuartil) y 3.69% (Q3, tercer cuartil). Por otra parte, los potreros en producción presentan un deterioro con 61% de sus valores de C orgánico por debajo de 2.68% (Q1 en suelos no disturbado), mientras que solo un 25% de los suelos de referencia ocurren en esa categoría. Los suelos en producción con valores de C orgánico inferior a 2.68% tendrían una degradación proporcional a su alejamiento del mencionado valor. Con esta misma metodología se pueden interpretar los otros indicadores de calidad mencionados.

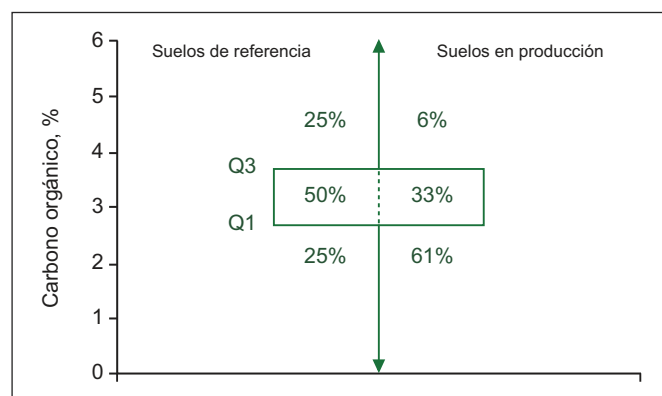


Figura 2. Distribución de valores de C orgánico (0-7.5 cm) como indicador de calidad de suelo en Brunosoles vérticos y Vertisoles de cuenca lechera, en suelos de referencia (izquierda) y suelos en producción (derecha).

Finalmente, combinando los dos puntos anteriores, se propone utilizar la siguiente metodología para evaluar la calidad o estado de los suelos:

- Estado Actual del Suelo = Índice CONEAT * Factor Uso y Manejo
- Factor Uso y Manejo = Promedio Ponderado de Valores Relativos de los Indicadores
- Valor Relativo Indicador “z” = $a * (\text{Indicador “z” chacra} / \text{Valor de Referencia Indicador “z”})$, siendo “a” un ponderador del peso relativo del indicador “z”

En otras palabras, el Estado Actual del Suelo es el índice CONEAT corregido por el uso y manejo que tuvo dicho campo. La utilización inadecuada del suelo afectará negativamente a uno o varios indicadores y, por tanto, al Factor Uso y Manejo y finalmente al Estado Actual del Suelo. En consecuencia, afectaría negativamente los valores de venta y arrendamiento. Es claro que si existe una metodología confiable para diagnosticar el estado actual de los suelos quien vaya a realizar una compra de campo difícilmente deje de utilizar herramientas como las mencionadas.

Asimismo, quien vaya a vender un campo en buenas condiciones deberá resaltar las mismas y tratará de utilizar esta herramienta. Razonamiento similar puede aplicarse para los arrendamientos de campo. Es esperable que la adopción de esta metodología de valoración económica del uso y manejo de los suelos induzca a un uso sustentable del mismo. En definitiva, realizar un uso y manejo correcto del recurso suelo tendría una valoración económica positiva. Este sería un motor para que la mayoría de los actores o agentes económicos cuidaran el recurso suelo y no serían necesarios complejos y costosos sistemas de control por parte de las autoridades competentes.

Perspectivas

A los efectos de encarar una política nacional de sustentabilidad del recurso suelo frente a la intensificación del uso del mismo, parece lógico sumar todos los esfuerzos realizados por diferentes instituciones en relación al tema. Agregar mediciones de indicadores de calidad del suelo a la herramienta predictiva de pérdidas de suelo, enriquecería y daría una mayor solidez al enfoque actual. Para esto sería necesario que a nivel oficial se promueva la utilización de indicadores objetivos, cuantitativos. Para esto son necesarios protocolos sobre muestreos, métodos de análisis y niveles de referencia para poder hacer las interpretaciones correspondientes. Su aplicación práctica exigiría una fuerte presencia de los profesionales ingenieros agrónomos.*

ENFOQUES ALTERNATIVOS PARA EL DIAGNÓSTICO DE FERTILIDAD DE SUELOS EL ENFOQUE “TRADICIONAL”¹

Fernando O. García² e Ignacio A. Ciampitti³

El diagnóstico de fertilidad de suelos con el objetivo de generar recomendaciones de fertilización para los cultivos extensivos ha evolucionado marcadamente en los últimos años. El diagnóstico de fertilidad basado en el análisis de suelos de las formas “disponibles” o “extractables” de los nutrientes, se desarrolló a partir de investigaciones realizadas entre las décadas de los ‘40 y ‘50. El análisis de suelos continúa siendo probablemente el enfoque más utilizado a nivel mundial, pero otras metodologías o enfoques tales como otros indicadores de suelo, muestreos geo-referenciados, análisis de planta, sensores remotos, modelos de simulación y requerimientos de los cultivos aportan alternativas complementarias y/o superadoras para mejorar los diagnósticos de fertilidad (Janssen et al., 1990; Malavolta et al., 1997; Satorre et al., 2005; Melchiori, 2007; Shanahan et al., 2008).

Los análisis de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad (“soil testing”), son extracciones químicas y/o bioquímicas rápidas que estiman la disponibilidad de nutrientes (Sims, 2000; Havlin et al., 2005). La cantidad de nutriente que se extrae es solo una proporción de la cantidad total de nutriente en el suelo. La cantidad de nutriente extraída tampoco es igual a la cantidad de nutriente absorbida por el cultivo pero se relaciona estrechamente con esta. Por lo tanto, el análisis de suelo es solo un “índice de disponibilidad” de nutrientes para el cultivo. Frecuentemente se utiliza el término “disponible”, pero se debe entender que la fracción determinada usualmente representa solo una fracción que está en rápido equilibrio con la solución del suelo, y puede ser absorbida por las plantas.

Los objetivos del análisis de suelo con fines de diagnóstico son:

- Proveer un índice de disponibilidad de nutriente en el suelo.
- Predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización o enalado.
- Proveer la base para el desarrollo de recomendaciones de fertilización (Gutiérrez Boem et al., 2005; Havlin et al., 2005).

Claramente, el análisis de suelo constituye una mejor práctica de manejo (MPM) clave para el uso de fertilizantes y otros abonos, ya sea para los fines de producción como de protección ambiental. En este

artículo se presenta una breve descripción del desarrollo e implementación de programas de análisis de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad, una síntesis del uso de análisis de suelos en cultivos extensivos de Argentina, y una discusión acerca de los desafíos y oportunidades del análisis de suelos para mejorar el diagnóstico de fertilidad para las recomendaciones de fertilización.

Desarrollo e implementación de programas de análisis de suelo

El desarrollo del análisis de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad incluye las siguientes etapas:

- *Muestreo de suelos:* En las etapas de desarrollo se definen: momento, frecuencia, profundidad y otras consideraciones que contribuyen a atenuar los efectos de variabilidad espacial y temporal. La representatividad de la muestra es fundamental para que el programa sea exitoso. Existe una alta variabilidad espacial y temporal en la mayoría de los análisis de suelo cuyo impacto puede disminuirse con adecuada planificación del muestreo.
- *Selección del extractante y metodología de análisis:* La metodología elegida debe facilitar estimaciones precisas y exactas del nivel de nutriente “disponible”, ser rápida, de bajo costo e impacto ambiental. Debe procurarse la estandarización de los análisis de laboratorio para reducir la variabilidad en los resultados analíticos (Marban y Ratto, 2005).
- *Correlación:* El análisis de suelo es correlacionado generalmente con la absorción de nutriente de toda o una parte de la planta en condiciones de campo y/o invernáculo. En ocasiones, el análisis se correlaciona con la producción de materia seca y/o rendimiento comercial.
- *Calibración:* Es la parte central del desarrollo ya que provee información respecto al grado de deficiencia o suficiencia de un elemento para un cultivo, y cuanto del elemento debe ser aplicado si se presenta deficiente. Involucra la definición de agroecosistemas de características similares (rotaciones, suelos, manejo, clima, etc.) que pueden responder de manera similar a la fertilización facilitando la

¹ Presentado en el XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs, Rosario, 31 de Mayo al 4 de Junio del 2010.

² IPNI Cono Sur. Av. Santa Fe 910, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: fgarcia@ipni.net

³ Agronomy Department, Purdue University. 915 W. State Street, West Lafayette, Indiana, EE.UU. Correo electrónico: iciampit@purdue.edu

formulación de recomendaciones. Una calibración adecuada requiere la evaluación de la mayor diversidad de los agro-ecosistemas de la región en varias campañas, para explorar condiciones climáticas contrastantes. Más aun, la calibración debe ser realizada de manera continua incorporando las más recientes prácticas de manejo de suelos y cultivos.

- **Interpretación:** A partir de la información experimental desarrollada en las etapas de correlación y calibración, se interpreta cuantitativamente el resultado específico del análisis. La interpretación de los resultados puede variar según las relaciones cuantitativas utilizadas, por ejemplo distintos niveles críticos según el modelo matemático utilizado (Mallarino y Blackmer, 1992). En esta etapa pueden definirse probabilidades de respuesta económica asociadas a distintas categorías de disponibilidad de nutrientes.
- **Recomendaciones:** Se integra la interpretación cuantitativa del análisis de suelo con la condición de otros factores que afectan la respuesta potencial a la aplicación de nutrientes. Entre estos factores se incluyen el cultivo, el rendimiento esperado, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, las condiciones económicas, las regulaciones ambientales y la filosofía del productor. En esta etapa se define la estrategia y filosofía de recomendación, por ejemplo en nutrientes de baja movilidad, los criterios de suficiencia, reposición, construcción y mantenimiento u otras variantes son las posibilidades a utilizar por el asesor o productor.

Mayor información y discusión sobre estas seis etapas se puede encontrar en Walsh y Beaton (1973); Peck et al. (1977); Brown et al. (1987); Sims (2000); Álvarez et al. (2005) y Havlin et al. (2005). El desarrollo del análisis de suelos requiere de una inversión significativa en recursos técnicos, económicos y de tiempo. Se deben establecer redes de ensayos a campo en suelos con niveles contrastantes de disponibilidad del nutriente en estudio, en distintas condiciones edafo-climáticas y de manejo de suelos y cultivos, durante varios años y evaluando dosis de fertilización. Por esta razón, los estudios de correlación y calibración, que fueron numerosos en distintos países entre las décadas de los '50 y '70, se han reducido notablemente en los últimos 20-30 años tanto a nivel nacional como internacional.

Una vez desarrollados, la implementación de los programas de diagnóstico de fertilidad, basados en análisis de suelo, involucran tres pasos asociados a las seis etapas indicadas para su desarrollo:

- Muestreo de suelos.
- Análisis.
- Interpretación y recomendación.

Estos tres pasos deben seguir estrictamente las indicaciones definidas durante el desarrollo del programa ya que suelen presentarse numerosas fuentes de variabilidad y de errores potenciales en cada uno de ellos.

Análisis de suelos en cultivos extensivos de Argentina

Nitrógeno

Para trigo y maíz se han calibrado umbrales críticos de disponibilidad de nitrógeno (N) a la siembra (N-nitratos suelo, 0-60 cm, + N fertilizante), constituyendo el método más difundido para determinar las necesidades de N (González Montaner et al., 1991; Ruiz et al., 2001). Estos umbrales varían según la zona y el nivel de rendimiento objetivo. Para los dos cultivos, los análisis de N-nitratos en pre-siembra permiten predecir con buena precisión y exactitud la dosis óptima económica a aplicar (Álvarez et al., 2003; Pagani et al., 2008; Barbieri et al., 2009). En algunas situaciones, las correlaciones entre el nivel de N-nitratos en pre-siembra y el rendimiento del cultivo pueden ser muy pobres principalmente debido a pérdidas de N producidas por lixiviación, volatilización y/o desnitrificación (disminución del N potencialmente disponible para la absorción por las plantas) durante el desarrollo de las etapas tempranas del cultivo.

En trigo, se pueden mencionar umbrales mayores, en el orden de 175 kg ha⁻¹, para alcanzar rendimientos de 6000 kg ha⁻¹ en el sudeste de Buenos Aires (Información CREA Mar y Sierras), y umbrales menores, entre 130-140 kg ha⁻¹ para rendimientos de 4000 kg ha⁻¹ en el sur de Santa Fe (García et al., 2006). En ensayos recientes, Barbieri et al. (2008) determinaron umbrales de 152 y 126 kg N ha⁻¹ al momento de la siembra y al macollaje, respectivamente, para alcanzar el 95% del rendimiento máximo (promedios de 5000-5500 kg ha⁻¹) en el sudeste de Buenos Aires. En maíz, evaluaciones de resultados experimentales más recientes indican que disponibilidades de 150-170 kg N ha⁻¹, según el potencial de rendimiento, maximizan el beneficio económico de la fertilización nitrogenada (Álvarez et al., 2003; García et al., 2006).

Fósforo

La evaluación de la fertilidad fosfatada de los suelos en Argentina se basa en el análisis en pre-siembra que determina el nivel de fósforo (P) Bray a 0-20 cm de profundidad. Esta metodología ha sido probada y recomendada para todos los cultivos. Las calibraciones sugieren niveles críticos por debajo de los cuales la probabilidad de respuesta es alta: rangos de 15-20, 9-14, 10-15 y 13-18 mg kg⁻¹ P Bray para trigo, soya, girasol y maíz, respectivamente (**Tabla 1**). Estos umbrales son relativamente constantes para todas las zonas de producción de granos e independientes del rendimiento esperado del cultivo ya que el P es un nutriente inmóvil en el suelo.

Tabla 1. Umbrales críticos de P extractable (Bray 1) en el suelo (0-20 cm) para los cultivos de trigo, soya, girasol y maíz en la Región Pampeana.

Cultivo	Umbral crítico mg kg ⁻¹	Referencia
Trigo	15-20	Echeverría y García, 1998; García et al., 2006; García, 2007
Soya	9-14	Echeverría y García, 1998; Melchiori et al., 2002; Gutiérrez Boem et al., 2002; Díaz Zorita et al., 2002; Fontanetto, 2004; García et al., 2006
Girasol	10-15	Díaz Zorita, 2002
Maíz	13-18	García et al., 1997; Ferrari et al., 2000; Mistrorigo et al., 2000; Berardo et al., 2001; García, 2002; García et al., 2006

Tabla 2. Características comparadas de las filosofías de suficiencia y de construcción y mantenimiento para la fertilización fosfatada.

Suficiencia	Construcción y mantenimiento
Basado en “respuesta del cultivo” a P	Basado en “respuesta del suelo” a P
Para cada valor debajo del nivel crítico, distintas dosis determinan el óptimo rendimiento físico o económico	No se debe trabajar en la zona de P Bray de deficiencia grave y probable
No se consideran efectos de la fertilización en los niveles de nutriente en el suelo	Si el nivel de P es bajo, se fertiliza no solo para alcanzar el máximo rendimiento, sino para asegurar que se suba el nivel inicial
Requiere buen conocimiento de las dosis óptimas para cada cultivo, del nivel inicial y precisión en el análisis de suelo	Llegar al óptimo nivel en 4 a 6 años y mantenerlo, generalmente basado en la remoción de nutriente con las cosechas
Aumenta el retorno por kg de nutriente, la EA*, y solo se alcanzarán los rendimientos máximos si la dosis aplicada es suficiente para llevar el suelo al nivel del umbral crítico. Si no es así, el rendimiento será limitado por P	Puede reducir el retorno por kg de nutriente, la EA*, pero también reduce el riesgo de disminuir el retorno a la producción
Mayor impacto de errores de calibración de análisis de suelo, recomendaciones y de muestreo	Menor impacto de errores de calibración de análisis de suelo, recomendaciones y de muestreo
Requiere de muestreos frecuentes y aplicaciones localizadas en muchos casos	No requiere muestreos frecuentes, pueden realizarse cada 2 o 3 años, ni métodos de aplicaciones costosas
Buena opción para suelos “fijadores”, y en lotes en arrendamiento anual	Razonable en suelos poco o no “fijadores”, y en lotes de propietarios
Menor disponibilidad de capital	Mayor disponibilidad de capital

* EA = Eficiencia Agronómica.

El nivel de P extractable define la probabilidad de respuesta. La dosis de P a aplicar se ha propuesto a partir de categorías de “disponibilidad” de P, definidas por el nivel de P Bray. Estas categorías han incluido variantes de filosofías de “suficiencia” y “construcción y mantenimiento” (Berardo, 1994; Echeverría y García, 1998). A escala de productor, la fertilización fosfatada de los cultivos de grano en Argentina se ha realizado históricamente siguiendo un criterio de suficiencia. Las filosofías de “suficiencia” y de “construcción y mantenimiento” utilizan el nivel crítico como referencia central, y difieren en cuanto a las dosis recomendadas por debajo del nivel crítico e inmediatamente por arriba

del mismo. La **Tabla 2** compara algunas características de ambos métodos.

El criterio de suficiencia resulta en recomendaciones de fertilización solamente por debajo del nivel crítico de P extractable buscando maximizar el retorno de la inversión en fertilizante en el corto plazo. Por otro lado, el criterio de construcción y mantenimiento recomienda aplicaciones de fertilizantes fosfatados con el objetivo de subir el nivel de P Bray por arriba del nivel crítico y mantenerlo, de manera de evitar pérdidas de rendimiento por limitaciones de abastecimiento de P, maximizando la efectividad del sistema y la eficiencia

de uso del P a mediano y largo plazo. La decisión por uno u otro criterio, a partir del conocimiento agronómico, es empresarial y depende de factores tales como la tenencia de la tierra (propietario, arrendatario), disponibilidad de capital, etc. Probablemente, en muchas situaciones, el criterio más adecuado involucre una situación intermedia entre ambas filosofías. Por último, se debe destacar que la utilización de estos criterios es sitio-específica, debido a que varían con el nivel de P extractable del suelo y la inversión de capital a realizarse.

Una alternativa para el cálculo de la dosis correcta de acuerdo al criterio de suficiencia fue propuesta por Rubio et al. (2008). El criterio consiste en llevar al suelo a valores del rango crítico del cultivo a implantar. Se busca incrementar el P extractable (obtenido por medio del análisis de P Bray hecho en pre-siembra) hasta esos umbrales críticos durante el desarrollo del cultivo minimizando el efecto residual para cultivos subsiguientes. La cantidad de P a aplicar para incrementar el nivel de P Bray se estima a partir de un coeficiente b, que depende del índice de retención de P del suelo, el valor de P Bray inicial, el contenido de arcilla, la densidad aparente y la profundidad de muestreo. En la **Figura 1** se ejemplifican los cálculos para un lote agrícola de Venado Tuerto con contenido inicial de P Bray de 11 ppm al que se quiere llevar a una disponibilidad de P de 15 ppm.

Si el criterio es de construcción y mantenimiento de P, a la cantidad de P extraída en grano se debería sumar la cantidad de P necesaria para aumentar el nivel de P extractable del suelo al valor deseado. En Argentina, se han determinado requerimientos de 4-12 kg de P para incrementar el P Bray en 1 mg kg⁻¹, según tipo de suelo, textura, nivel original de P Bray y tiempo de evaluación de la estrategia de fertilización (**Tabla 3**). En forma general, suelos con valores bajos de P Bray (<15 mg kg⁻¹) presentan una rápida capacidad de respuesta a la fertilización fosfatada, incrementando los niveles de P

extractable del suelo; mientras que por otro lado, presentan una baja o nula respuesta en disminución de los valores ante situaciones de ausencia continua de aplicación de P (Ciampitti et al., 2008; Ciampitti, 2009). Esta última situación, lleva a que año tras año en esos lotes los niveles de P extractable en los análisis varíen moderadamente, por lo cual, no se toma conciencia de la pérdida “real” de P del suelo proveniente de otras fracciones consideradas de menor labilidad. En suelos con valores elevados de P Bray (>45 mg kg⁻¹), la aplicación de P produce respuestas erráticas en los niveles de P extractable, por lo cual, en muchas situaciones no se observan cambios en los niveles del nutriente en suelo; mientras que situaciones con ausencia de aplicación de P llevan a una disminución rápida y continua de los niveles de P en suelo (Ciampitti et al., 2008; Ciampitti, 2009). En esta última situación, la mejor solución es monitorear los niveles cada 2-3 años y utilizar la filosofía de suficiencia o reposición, dependiendo de la tenencia de la tierra y la decisión empresarial de cada productor.

Azufre y otros nutrientes

En el caso de azufre (S), algunas redes de ensayos han permitido determinar umbrales críticos de S-sulfatos a 0-20 cm de profundidad en pre-siembra, con valores generalmente cercanos a 10 mg kg⁻¹ S-sulfatos, por debajo de los cuales la respuesta es altamente probable (Ferraris et al., 2004; Garcia et al., 2006). Sin embargo, no se han podido generalizar niveles críticos que sirvan de guía para la toma de decisión (Reussi Calvo y Echeverría, 2009). Esta situación no difiere de lo observado en otras regiones del mundo.

En la Región Pampeana Argentina, la intensificación de la agricultura ha resultado en la disminución de los niveles de bases (calcio, magnesio) y pH en algunos suelos, con respuestas significativas a la aplicación de enmiendas calcáreas y/o dolomíticas en alfalfa y soya. Más aun, también se han determinado deficiencias y

Tabla 3. Dosis de P necesaria para aumentar en 1 mg kg⁻¹ el nivel de P Bray 1 del suelo.

Referencias	Dosis de P (kg P mg kg ⁻¹ P Bray)	Comentarios
Berardo y Grattone (2000)	6.7	SE Buenos Aires, 1 año, extracción incluida
Berardo et al., com. pers.	9.1	7 años, sin extracción
Ventimiglia et al., com. pers.	10	7 años, sin extracción
Bianchini et al., com. pers.	5.5	1 año, sin extracción, P Bray inicial 22.5 ppm
Rubio et al. (2008)	2.9-6.0	45 días, sin extracción, según P Bray inicial, Arcilla, y Zona
Red CREA Sur de Santa Fe (2006); Ciampitti et al. (2008)	6.4-6.8 10.1-13.3	7 años, sin extracción P Bray inicial >25 ppm P Bray inicial <25 ppm

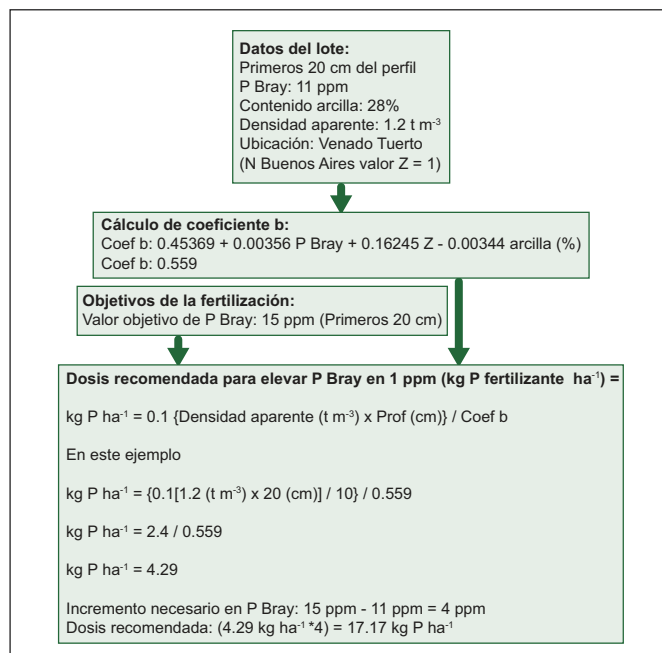


Figura 1. Aplicación práctica de la metodología de estimación de dosis de P de suficiencia propuesta por Rubio et al. (2008). Ejemplo de un lote agrícola de Venado Tuerto en el que se quiere incrementar el P extractable a 15 ppm P Bray.

respuestas a boro (B) y zinc (Zn) en maíz y soya, a cloro (Cl) en trigo y a molibdeno (Mo) y cobalto (Co) en soya. Sin embargo, aun no se han establecido programas de diagnóstico de fertilidad basados en el análisis de suelos para estos nutrientes.

Oportunidades y desafíos del análisis de suelos para mejorar el diagnóstico de fertilidad para la recomendación de fertilización

Un mayor uso de análisis de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad contribuirá significativamente a una agricultura sustentable y, específicamente, a un uso de nutrientes más eficiente. Si bien no se disponen de datos precisos, se puede estimar que anualmente entre el 15 al 25% del área bajo siembra de cultivos de granos es muestreado con fines de diagnóstico de fertilidad. Si esta estimación es correcta, indicaría que aun existe un amplio camino para recorrer en la difusión de la práctica, lo cual representa una oportunidad interesante para realizar un manejo más eficiente de los nutrientes, tanto los del suelo como de los fertilizantes. El impacto que podría tener un mayor uso de los análisis de suelo no se debe ver solamente desde el punto de vista productivo, sino también desde la protección ambiental ya que el uso responsable de los nutrientes permitirá reducir los efectos negativos de contaminación de suelos, agua y aire que generan las fertilizaciones excesivas. Por otro lado, una mejor promoción en una correcta interpretación y uso de los análisis de suelos debería ser fomentada, debido a que una variada proporción de los análisis realizados no son utilizados correctamente para solucionar los problemas de fertilidad y de nutrición de los cultivos.

Desde el punto de vista del desarrollo y la implementación del análisis de suelos, existen numerosos desafíos y oportunidades que se discuten a continuación.

Muestreo de suelos

Es importante remarcar el concepto de que no existe análisis y/o recomendación que mejore la representatividad y calidad de la muestra analizada. Los lotes, zonas de manejo o grillas generalmente presentan marcada variabilidad espacial a nivel micro y macro. Es clara pues la insistencia en un cuidadoso y detallado proceso de toma de muestras a campo. Deben enfatizarse las siguientes indicaciones generales del muestreo de suelos:

- Obtener una muestra compuesta de al menos 25-30 submuestras de cada área homogénea, separando zonas con distinta historia de manejo o distinta posición topográfica.
- Respetar la profundidad y época de muestreo indicada por el programa de análisis.
- Mantener limpios y en condiciones los elementos utilizados para el muestreo.

Asimismo, es importante conocer la historia de los cultivos, manejo del área a muestrear y la topografía. Más aun, disponer de fotos aéreas y mapas de suelo y/o de rendimiento, permitirán diferenciar más fácilmente áreas no homogéneas.

La posibilidad de geo-referenciar la posición de muestreo permite disminuir el efecto de la variación espacial a nivel macro (posición en el paisaje, lote con áreas de diferente historia de cultivos y/o manejo) aunque no disminuye el impacto de la microvariación generada por el posicionamiento de bandas de fertilización de años anteriores. La disponibilidad de muestreadores hidráulicos que facilitan la tarea de muestreo y la constancia de la profundidad, contribuye a la obtención de una muestra representativa.

Análisis de la muestra

Esta etapa es frecuentemente identificada como la principal fuente de variación en los resultados de un análisis de suelos y esto no debiera ser así. Las diferencias que se observan entre resultados de análisis de una misma muestra entre distintos laboratorios se deben a varias causas:

- Representatividad de la muestra [¿Fue bien homogeneizada antes de dividirse y enviarse a distintos laboratorios?].
- Diferencias de extractantes utilizados.
- Metodologías de análisis diferentes (relación suelo:extractante, tiempo de agitado, tiempo de reposo, instrumental, etc.).
- Calidad analítica del laboratorio.

Sin lugar a dudas, la estandarización de los ensayos de laboratorio y los programas de interlaboratorio contribuyen de manera decisiva a mejorar la calidad analítica y de los resultados (Marban y Ratto, 2005). En Argentina, diversas instituciones y laboratorios, coordinados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP), conforman el SAMLA que es una red de adhesión voluntaria que nuclea a laboratorios dedicados al análisis de suelos, aguas, vegetales y enmiendas orgánicas, cuyo objetivo es mejorar la calidad de los análisis con el fin de hacer los resultados más confiables y comparables entre sí, normalizando las distintas técnicas para determinaciones tanto físicas como químicas y unificando criterios en todo lo relativo a la expresión e interpretación de los resultados analíticos (MAGyP, 2010). El MAGyP también coordina el PROINSA que es un programa de interlaboratorios para suelos agropecuarios, que tiene la finalidad de determinar el desempeño de cada laboratorio participante mediante la comparación de sus resultados con los de todos los demás participantes. La continuidad y profundización del trabajo de SAMLA y PROINSA contribuirá a la mejora de la calidad analítica de los laboratorios.

En el caso particular de P, el extractante adaptado por Argentina ha sido Bray 1 y todas las calibraciones se han realizado con la metodología correspondiente. Frecuentemente se discute la posibilidad de utilizar un extractante universal como es el Mehlich 3, el cual presenta un alto grado de asociación con los valores obtenidos con Bray 1 (Barbagelata y Melchiori, 2004; González et al., 2007). Otra alternativa de extracción es el uso de resinas de intercambio, metodología desarrollada y utilizada en el estado de San Pablo (Brasil), y de características superiores a los extractantes convencionales según Van Raij (1998). En este caso, sería necesario realizar una calibración nueva, lo cual requiere una importante inversión de recursos técnicos, económicos y de tiempo.

Correlación y calibración

El alcance del análisis de suelos con fines de diagnóstico de fertilidad es limitado por la variabilidad observada en las relaciones entre el rendimiento o la respuesta de los cultivos y el nivel de nutriente “disponible” en el suelo. En general, los niveles de un nutriente en suelo explican un 40-60% del rendimiento o respuesta del cultivo. Este escenario ocurre debido a que el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo dependen de numerosos factores más allá de la disponibilidad de un único nutriente (ejemplo: radiación, temperatura, otros nutrientes, agua, etc).

La **Figura 2**, que muestra la relación entre el N disponible al momento de siembra, suelo + fertilizante, con la variable rendimiento del cultivo de maíz para diferentes redes de ensayos, es buen ejemplo de la

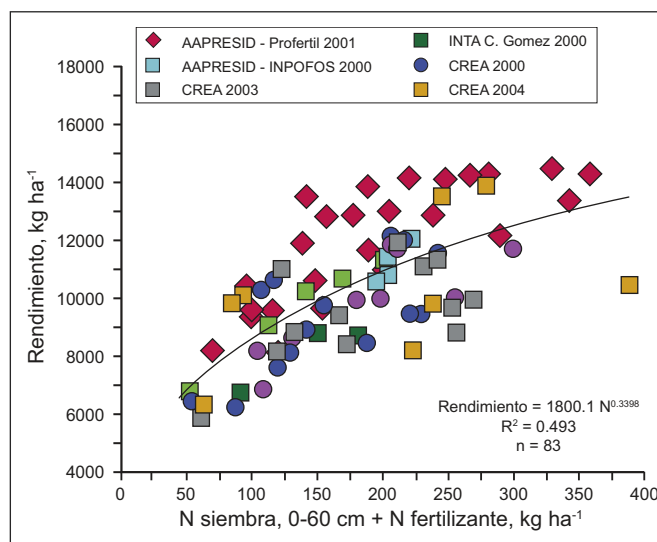


Figura 2. Rendimiento de maíz en función de la disponibilidad de N a la siembra del cultivo (N-nitratos suelo + N-fertilizante).

variabilidad que presentan estas relaciones. En este caso, la herramienta del análisis de N en siembra es importante, como predictiva, debido a que presenta un ajuste de casi el 50% con los rendimientos del cultivo de maíz, para diferentes localidades y en 5 años climáticos diversos. Sin embargo, hay una gran variabilidad en la respuesta de maíz según la disponibilidad de N a la siembra, la cual puede adjudicarse, entre otros factores, al aporte de N mineralizado durante el ciclo del cultivo, pérdidas del N disponible a la siembra, diferencias en potencial de rendimiento, condiciones climáticas, otros nutrientes o propiedades de suelo limitantes, y otros factores de manejo (plagas, malezas, enfermedades).

En el caso particular de P, se ha hipotetizado que, con la expansión de la siembra directa, se podrían lograr mejores ajustes muestreando a profundidades menores de 0-20 cm que es la profundidad a la cual se ha calibrado el análisis de P Bray en el país. Sin embargo, las evaluaciones realizadas no han mostrado mejoras en el ajuste del método muestreando a 0-5 o 0-10 cm de profundidad (Zamuner et al., 2004).

El caso de S debe ser examinado con mayor detalle ya sea en lo que hace a metodología de análisis como a los estudios de correlación y calibración, los cuales son muy escasos en el país hasta la fecha. Asimismo, deberían evaluarse las posibles variables que contribuyan al mejor conocimiento de la dinámica del nutriente en nuestros agro-ecosistemas y las posibles alternativas para el diagnóstico de fertilidad.

Por otra parte, como se mencionó anteriormente, las experimentaciones de correlación y calibración de análisis de suelos con fines de diagnóstico se redujeron notablemente en los últimos 20-30 años, tanto en el país como a nivel internacional. Estas experimentaciones de correlación y calibración son esenciales para poder generar las interpretaciones y recomendaciones

correspondientes. En este aspecto, las investigaciones realizadas en los últimos años en el país han sido escasas y generalmente en trabajos de iso-dosis (dosis única) en los cuales se pueden definir, como en el caso de P, solamente umbrales críticos. En el caso de N, las investigaciones en el uso del contenido de N-nitratos a 0-60 cm permiten generar calibraciones y facilitan la formulación de interpretaciones y recomendaciones.

Si se pretende utilizar el análisis de suelos con fines de diagnóstico, deberían ampliarse las investigaciones de calibración, evaluando los agro-ecosistemas de las principales áreas productoras. Sería de interés aprovechar las tecnologías actuales de imágenes satelitales, mapas de rendimiento, mapas de suelos y topográficos, para lograr una mejor definición de ambientes contrastantes en el agrupamiento de sitios con condiciones similares que puedan responder de manera similar a un determinado nivel de nutriente en suelo y/o a la aplicación de fertilizante. Obviamente, los costos y recursos que involucran los estudios de calibración son una limitante. En este aspecto, las alternativas que se han utilizado en los últimos años y que se discuten en el próximo punto pueden ser válidas para simplificar el trabajo experimental de calibración complementándolo con información que contribuye a un diagnóstico de fertilidad adecuado.

Interpretación de resultados y recomendaciones

La interpretación y subsecuente recomendación de fertilización, puede ser mejorada utilizando metodologías y herramientas complementarias al análisis de suelo. Siguiendo con el ejemplo de la relación disponibilidad de N a la siembra - rendimiento de maíz de la **Figura 2**, evaluaciones de la condición de sitio como tipo de suelo, historia del lote, potencial de rendimiento, genética empleada, condiciones climáticas, profundidad de napa freática, entre otras, pueden contribuir a una mejor interpretación de los resultados. Otras variables de suelo o planta pueden ser determinadas para ajustar la interpretación, en este caso se podrían mencionar la evaluación de N-nitratos en suelo o de nitratos en jugo de base de tallos al estado V5-6, la determinación del índice de verdor a través del clorofilometro Minolta SPAD 502, y la evaluación del N mineralizado (Rice y Havlin, 1994; Melchiori, 2007; Sainz Rozas et al., 2000 y 2008).

En el caso de S, los ambientes más frecuentemente deficientes en S incluyen una o varias de las siguientes condiciones: suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soya), con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada; suelos arenosos de bajo contenido de materia orgánica; y/o suelos sin aporte de sulfatos por presencia de napas freáticas superficiales.

La variación temporal afecta, en particular, a los nutrientes más asociados con la materia orgánica, como es el caso de N y S, y puede ser abordada a través del uso de modelos de simulación del crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo que incluyan simulaciones de la dinámica de los nutrientes (Hoogenboom et al., 2003). Estos modelos permiten incluir características específicas de suelo, fertilización nitrogenada, manejo de cultivo y de riesgo climático. El software *Triguero*, y su contraparte Maicero, (Satorre et al., 2005) han sido ampliamente evaluados y pueden ser utilizados como una herramienta adicional para la toma de decisión en distintas regiones trigueras y maiceras. Los sensores remotos monitorean el status nutricional del cultivo y permiten corregir el mismo según las condiciones de la estación de crecimiento y del sitio (Melchiori, 2007; Shanahan et al., 2008).

Para P, la recomendación con criterio de suficiencia o de construcción y mantenimiento es una alternativa a decidir por el productor y su asesor. La utilización de un criterio u otro, o de situaciones intermedias, depende en gran medida de la situación de cada productor, el sistema de manejo, la disponibilidad de capital, la relación de precios granos/fertilizante y la tenencia de la tierra, entre otros aspectos. En cualquier caso, el conocimiento de las correlaciones, calibraciones y la interpretación del análisis de suelo contribuirá a una toma de decisión mas adecuada para optimizar la eficiencia de uso del nutriente y de otros recursos. A modo de ejemplo, el laboratorio de Suelos de la Universidad del Estado de Kansas ofrece en sus recomendaciones las dos alternativas para que productores y asesores tomen la decisión en cada caso en particular (Leikam et al., 2003). Las alternativas intermedias son válidas y probablemente son las más utilizadas en la actualidad.

Para todos los nutrientes, además de las interacciones que se generan con la condición de sitio y otros factores de manejo, debe considerarse que al implementar MPM del uso de fertilizante, existe una interrelación entre la dosis, la fuente, la forma y el momento de aplicación. La dosis recomendada podría variar según la fuente, forma y momento de aplicación. Por otra parte, la interacción entre nutrientes debe ser atendida para lograr la mejor interpretación y recomendación de fertilización específica.

Consideraciones finales

Los análisis de suelo con fines de diagnóstico contribuyen positivamente a la toma de decisión en el uso eficiente de los fertilizantes pero presentan limitaciones. Vale la pena citar a Fixen y Grove (1990) para resumir las limitaciones del análisis de P extractable: "...lo mejor para predecir la probabilidad de respuesta a P, es pobre para predecir la magnitud de la respuesta y muy pobre para determinar la dosis óptima económica de P en un lote y año determinado...".

La complementación del análisis de suelo con otros indicadores de suelo, la información inherente al manejo del suelo y del cultivo y la condición del sitio, contribuyen a mejorar la calidad y alcance de la información que nos brinda el análisis.

La disponibilidad de otras herramientas como análisis de planta, sensores remotos, modelos de simulación y requerimientos de los cultivos surge como una alternativa de complementación entre las metodologías y no deberían ser vistas como alternativas excluyentes o sustitutivas.

Los equipos y programas relacionados con la agricultura de precisión han abierto la posibilidad de realizar evaluaciones a nivel de lote facilitando su medición e interpretación. Esta es una ventaja a aprovechar decididamente, para mejorar los diagnósticos de fertilidad y recomendaciones de fertilización. La aplicación de dosis variables de un nutriente evaluadas con monitores de rendimiento en distintas zonas de un lote constituye un ejemplo de esta posibilidad.

Los análisis de suelos con fines de diagnóstico contribuyen no solamente a los aspectos productivos del sistema sino también a la protección ambiental al mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes y disminuir la huella (“footprint”) de la agricultura sobre el medio ambiente.

Bibliografía

- Álvarez, R., F. Gutiérrez Boem, y G. Rubio. 2005. Recomendación de fertilización. En R. Alvarez (Coord.). Fertilización de Cultivos de Granos y Pasturas. Diagnóstico y Recomendación en la Región Pampeana. Ed. Facultad de Agronomía (UBA). Buenos Aires, Argentina. pp.37-51.
- Álvarez, R., H. Steinbach, C. Alvarez, y S. Grigera. 2003. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada de trigo y maíz en la pampa ondulada. Informaciones Agronómicas 18:14-19. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Barbagelata, P., y R. Melchiori. 2004. Diagnóstico de la fertilización fosfatada para trigo en siembra directa en Entre Ríos. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. AACS.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2008. Nitratos en el suelo a la siembra o al macollaje como diagnóstico de la nutrición nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense. Actas CD XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Luis. AACS.
- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría, y H.R. Sainz Rozas. 2009. Dosis óptima económica de nitrógeno en trigo según momento de fertilización en el sudeste bonaerense. Ciencia del Suelo 27(1):115-125.
- Berardo, A. 1994. Aspectos generales de fertilización y manejo del trigo en el área de influencia de la Estación Experimental INTA-Balcarce. Boletín Técnico 128. EEA INTA Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- Berardo, A., S. Ehrt, F. Grattone, y F. García. 2001. Corn yield response to phosphorus fertilization in the southern Pampas. Better Crops International 15(1):3-5.
- Berardo, A., y F. Grattone. 2000. Fertilización fosfatada requerida para alcanzar niveles objetivos de P-Bray en un argiudol. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, AACS. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Brown, J. 1987. Soil Testing: Sampling, correlation, calibration and interpretation. SSSA Spec. Pub. 21. SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU. 144p.
- Ciampitti, I.A. 2009. Tesis Magister Scientiae en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Capital Federal, Buenos Aires. 196p.
- Ciampitti, I.A., F.O. García, L.I. Picone, y G. Rubio. 2008. Phosphorus in field crop rotations of the Pampas of Argentina: Dynamics of Bray P, P balance and soil P fractions. Agronomy Abstracts. ASA-CSSA-SSSA-GSA International Annual Meetings. October 5-9. Houston, Texas. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, EE.UU.
- Díaz Zorita, M. 2002. Nutrición mineral y fertilización En M. Díaz Zorita y G. Duarte (ed.) Manual práctico para el cultivo de girasol. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp.77-96.
- Díaz Zorita, M., F. García, y R. Melgar. 2002. Fertilización en soja y trigo-soja: Respuesta de la fertilización en la región pampeana. Boletín Proyecto Fertilizar. EEA INTA Pergamino. 44p.
- Echeverría, H.E., y F.O. García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín técnico 149, INTA EEA Balcarce.
- Ferrari, M., J. Ostojic, L. Ventimiglia, H. Carta, y G. Ferraris. 2000. Fertilización de maíz: buscando una mayor eficiencia en el manejo del nitrógeno y el fósforo. Actas: “Fertilidad 2000” (IPNI Cono Sur) Rosario, pp.23-37.
- Ferraris, G., F. Salvaggiotti, P. Prystupa, y F. Gutiérrez Boem. 2004. Disponibilidad de azufre y respuesta de la soja de primera a la fertilización. Actas CD XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos. AACS.
- Fixen, P.E., y J. Grove. 1990. Testing soils for phosphorus. In: R.L. Westerman (ed.) Soil testing and plant analysis. 3a. edición. SSSA Book Number 3. Madison, Wisconsin, EE.UU. pp.141-180.
- Fontanetto, H. 2004. Nutrición de los cultivos y manejo de la fertilidad del suelo en la región central de Santa Fe. En: Actas Fertilidad de Suelos para una Agricultura Sustentable (IPNI Cono Sur) pp.19-25.
- García, F.O. 2002. Manejo de la fertilidad de suelos y fertilización de cultivos para altos rendimientos en la región pampeana argentina. En: www.ipni.net/lasc
- García, F.O. 2007. Requerimientos nutricionales del cultivo: Respuestas a la fertilización. In E. Satorre (ed.). Producción de trigo. 1a. edición. AACREA. Buenos Aires, Argentina. ISBN 978-987-22576-8-2. pp.37-42.
- García, F., M. Boxler, J. Minteguiaga, R. Pozzi, L. Firpo, G. Deza Marin, y A. Berardo. 2006. La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. AACREA. ISBN 987-22576-7-1. 32p.
- García, F., K. Fabrizzi, M. Ruffo, y P. Scarabicchi. 1997. Fertilización nitrogenada y fosfatada de maíz en el sudeste de Buenos Aires. Actas VI Congreso Nacional de

- Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- García, F.O., L.I. Picone, y A. Berardo. 2005. Capítulo 5: Fósforo. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Echeverría H.E. y García F.O. (Eds.). 99-121. INTA.
- González, M. M. López, G. Moreno, R. Comese, y M. Madero. 2007. Comparación de los métodos de Bray & Kurtz n° I y Mehlich III en la determinación de la disponibilidad de fósforo en suelos con fertilizaciones continuas. *Ci. Suelo* 25(1):23-29.
- González Montaner, J., G. Maddonni, N. Mailland, y M. Porsborg. 1991. Optimización de la respuesta a la fertilización nitrogenada en el cultivo de trigo a partir de un modelo de decisión para la Subregión IV (Sudeste de la Provincia de Buenos Aires). *Ciencia del Suelo* 9(1-2):41-51.
- Gutiérrez Boem, F.H., J.S. Scheiner, J. Moyano, y R.S. Lavado. 2002. Cambio en la disponibilidad de fósforo del suelo por el agregado de fertilizante. *Actas XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Puerto Madryn. Versión CD.
- Gutiérrez Boem, F., G. Rubio, y R. Alvarez. 2005. Diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes. En R. Alvarez (Coord.). *Fertilización de Cultivos de Granos y Pasturas. Diagnóstico y Recomendación en la Región Pampeana*. Ed. Facultad de Agronomía (UBA). Buenos Aires, Argentina. pp.27-36.
- Havlin, J., J. Beaton, S. Tisdale, y W. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers*. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, EE.UU. 7a. edición. 515p.
- Hoogenboom, G., J.W. Jones, C.H. Porter, P.W. Wilkens, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, y G.Y. Tsuji. (Eds). 2003. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 4.0*. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, EE.UU.
- Janssen, B.H., F.C.T. Guiking, D. van der Eijk, E.M.A. Smaling, J. Wolf, y H. van Reuler. 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 46:299-318.
- Leikam, D., R. Lamond, y D. Mengel. 2003. *Soil Test Interpretations and Fertilizer Recommendations*. Department of Agronomy, Kansas State University. MF-2586. Manhattan, Kansas, EE.UU. Disponible en: www.agronomy.ksu.edu
- MAGyP. 2010. Disponible en: www.minagri.gov.ar
- Malavolta, E., G. Vitti, y S. Oliveira. 1997. *Avaliacao do estado nutricional das plantas. POTAFOS. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato*. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 2ª. Edición. 319p.
- Mallarino, A.P., y A.M. Blackmer 1992. Comparison of Methods for Determining Critical Concentrations of Soil Test Phosphorus for Corn. *Agron. J.* 84:850-856.
- Marban, L., y S. Ratto (ed.). 2005. *Tecnologías en análisis de suelos*. AACs. Buenos Aires. 215p.
- Melchiori, R.J. 2007. Estado actual del manejo sitio específico de nitrógeno en Argentina. In F. Garcia e I. Ciampitti (ed.). *Actas Simposio "Fertilidad 2007"*. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Melchiori, R.J.M., O.P. Paporotti, y P.A. Barbagelata. 2002. Fertilización fosfatada en soja: validación del nivel crítico. INTA EEA Paraná. En: www.parana.inta.gov.ar
- Mistrorigo, D., R. De Carli, F. Aranguen, P. Beret, y A. Lisasso. 2000. Fertilización de maíz en siembra directa en Entre Ríos. En *Jornadas de Intercambio Técnico de Maíz*. AAPRESID. Rosario, Argentina.
- Pagani, A., H.E. Echeverría, H. Sainz Rozas, P.A. Barbieri. 2008. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 26(2):183-193.
- Peck, T., J. Cope, y D. Whitney. 1977. *Soil Testing: Correlating and interpreting the analytical results*. ASA Spec. Pub. 29. ASA. Madison, Wisconsin, EE.UU. 117p.
- Reussi Calvo, N., y H. Echeverría. 2009. Azufre: Marco conceptual para definir las mejores prácticas de manejo en los cultivos. En F. García e I. Ciampitti (ed.). *Simposio Fertilidad 2009: Mejores prácticas de manejo para una mayor eficiencia en la nutrición de cultivos*. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC. pp.52-59.
- Rice, C., y J. Havlin. 1994. Integrating mineralizable nitrogen indices into fertilizer nitrogen recommendations. In J. Havlin y J. Jacobsen (ed.). *Soil tesying: Prospects for improving nutrient recommendations*. SSSA Spec. Pub. 40. SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU. pp.1-13.
- Rubio, G., M.J. Cabello, F.H. Gutiérrez Boem, y E. Munaro. 2008. Estimating available soil P increases after P additions in Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1721-1727.
- Ruiz R., E. Satorre, G. Maddoni, J. Carcova, y M. Otegui. 2001. Umbrales de decisión para la fertilización nitrogenada en maíz. VII Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Sainz Rozas, H., H. Echeverría, G. Studdert, y G. Domínguez. 2000. Evaluation of the presidedress soil nitrogen test for no-tillage maize fertilized at planting. *Agron. J.* 92:1176-1183.
- Sainz Rozas, H., P. Calviño, H. Echeverría, M. Redolatti, y P. Barbieri. 2008. Contribution of anaerobically mineralized nitrogen to reliability of planting or presidedress soil nitrogen test in maize. *Agronomy Journal* 100:1020-1025.
- Satorre, E., F. Menéndez, y G. Tinghitella. 2005. El modelo Triguero: Recomendaciones de fertilización nitrogenada en trigo. Simposio "Fertilidad 2005: Nutrición, Producción y Ambiente". Rosario, 27-28 Abril. INPOFOS Cono Sur-Fertilizar A.C. pp.3-11.
- Shanahan, J.F., N.R. Kitchen, W.R. Raun, y J.S. Schepers. 2008. Responsive in-season nitrogen management for cereals, computers and electronics in agriculture 6(1):51-62.
- Sims, J.T. 2000. Soil fertility evaluation. En M.E. Sumner (ed.). *Handbook of Soil Science*. CRC Press. Boca Raton, FL. pp.113-153.
- Van Raij, B. 1998. Bioavailable tests: alternatives to standard soil extractions. *Commun. Soil Sci. Plant Ana.* 29:1553-1570.
- Walsh, L., y J. Beaton. 1973. *Soil Testing and Plant Analysis*. Revised edition. SSSA. Madison, Wisconsin, EE.UU. 491p.
- Zamuner, E., L. Picone, y H. Echeverría. 2004. Comparación de métodos de extracción de fósforo disponible Bray I sobre la respuesta de la fertilización fosfatada en trigo. *Ciencia del Suelo* 22(2):57-63.*

LA DEFICIENCIA TRANSITORIA DE CALCIO COMO CAUSA PRIMORDIAL DE LA PUDRICIÓN DE COGOLLO EN PALMA DE ACEITE

Douglas Laing¹

Introducción

Se presentan graves incidencias de un desorden, generalmente denominado Pudrición de Cogollo (PC) en español, Oil Palm Bud Rot en inglés, y Amarelecimento Fatal do Dendezeiro (AF) en portugués, en muchas plantaciones comerciales de palma de aceite (*Elaeis guineensis*). El desorden se conoce en varios países productores de las Américas y África desde los primeros informes de Reinking en 1928 (De Franqueville, 2001) en una plantación exploratoria sembrada por la entonces United Fruit Company cerca del corregimiento de Almirante en Panamá. Las incidencias más serias han sido reportadas en zonas de producción específicas de Colombia, Ecuador, Perú, Costa Rica, Brasil –principalmente en los Estados de Pará y Amazonas–, Venezuela, Surinam, Nicaragua y en la región ecuatorial oeste del África Central, particularmente en la ahora República Democrática del Congo-Zaire y la República del Congo-Brazzaville (Duff, 1963; De Franqueville, 2001).

La PC no ha sido identificada como un problema serio en Honduras, en la zona de producción en el oeste de Guatemala en el Litoral Pacífico, el Litoral Atlántico de México o en la República Dominicana. Recientemente, síntomas de PC han sido detectados en los híbridos comerciales (F1) de *E. guineensis* con *E. oleífera* por lo menos en Colombia y Ecuador, pero generalmente estos materiales tienen un menor grado de susceptibilidad. Desde hace siglos las arboledas tradicionales de *E. guineensis* en las aldeas en los trópicos húmedos de África y en Bahía (Brasil) no han tenido incidencias significativas de PC (Duff, 1963; Mariau et al., 1992; De Franqueville, 2001).

Las pérdidas en producción en Colombia en el 2009 fueron estimadas en más de 100 millones de dólares anuales (Fedepalma-Cenipalma, 2009). El rendimiento nacional de aceite crudo en Colombia ha bajado desde el máximo histórico de 4 t ha⁻¹ en 2004 a 3 t ha⁻¹ en 2010 (Mesa, 2010) y una parte significativa de este descenso es atribuible a los estragos de la PC. Las pérdidas económicas se dan principalmente por la reducción del rendimiento, por los mayores costos asociados a la renovación prematura de las plantaciones y los controles fitosanitarios –incluyendo los del Picudo de la Palma– incurridos durante las fases de lenta recuperación del trastorno. La PC es considerada por muchos como la

limitación más importante para la industria palmera en América; y un cuello de botella crítico para la expansión de la palma en la cuenca amazónica (Fundación Konrad Adenauer, 2008; Boari, 2008).

Este artículo presenta una hipótesis en la cual la deficiencia transitoria de calcio (Ca) tiene un rol primordial como causante de la PC. Las bases fisiológicas y las pruebas se presentan en detalle porque hay evidencia de una falta de atención mundial sobre este tema tipificada por: (a) las inadecuadas aplicaciones de enmiendas de Ca, especialmente en América; (b) la acidificación progresiva de los suelos bajo el paradigma de manejo agronómico importado del Asia; y (c) la continuidad en el uso de la hoja No. 17 para determinar el nivel de nutrientes no removilizados en el floema. Cada uno de estas tres realidades esta ampliada en este documento.

La PC no es el único síntoma de la *malaise palmera* que tiene paralelos en la industria bananera (Ploetz, 2000; Turner y Rosales, 2003) y en otros cultivos permanentes en el trópico donde el paradigma agronómico dominante es aparentemente incompatible con la sostenibilidad en el mediano y largo plazo. La acidificación progresiva de los suelos bananeros es considerado uno de los factores más críticos en el deterioro de la salud radical-rizosfera en sistemas intensivos (Serrano, 2003). Las causas de este fenómeno en la palma de aceite son muy similares a las del banano (Nelson et al., 2010). Como todas las hipótesis científicas, los resultados y conclusiones de las futuras investigaciones sobre la PC deberán ser sometidos a escrutinio científico internacional imparcial. Como resultado de estas investigaciones, son previsible cambios drásticos en el modelo agronómico ahora casi universal de la industria palmera en América.

Sintomatología y etiología de la PC

Síntomas en tejidos apicales

Los síntomas visibles de PC en casi todas las regiones afectadas cubren un rango muy variable de anomalías en las hojas apicales más jóvenes, comenzando frecuentemente con una coloración amarillenta. El primer síntoma constantemente observado en todos los informes de las zonas de producción afectadas en América y África (Duff, 1963; Mariau et al., 1992; De Franqueville, 2001; Boari, 2008; Martínez et al., 2009) es la lesión necrótica que aparece en la sección distal de

¹ Agrónomo-Fisiólogo: Consultor privado e independiente con oficina en Cali Colombia. Correo electrónico: drlaing99@hotmail.com - <http://lapalmadeaceite.wikispaces.com>

las flechas más recientes alargadas a la vista, con podredumbre sucesiva posterior de los tejidos apicales en el embudo hasta el meristemo central, con la muerte de la palma en casos extremos.

En casos más benignos de PC, típicamente relacionados con las incidencias menos graves en determinadas regiones –como los Llanos Orientales de Colombia– las palmas afectadas se pueden recuperar durante un período de meses o años con diversos grados de éxito. En muchos casos palmas individuales afectadas, que se han recuperado plenamente y que son casi normales en términos de productividad, pueden volver a desarrollar nuevos síntomas del trastorno.

Síntomas en el sistema radical

El botánico inglés C.W. Wardlaw, en 1954, fue uno de los primeros en observar que el sistema radical era muy anormal en palmas de aceite con los primeros síntomas de PC (De Franqueville, 2001). Cincuenta años más tarde Albertazzi et al. (2005) en Costa Rica han reportado, en uno de los primeros ensayos formales sobre el tema, una notable reducción en el crecimiento y anomalías especialmente en las raíces terciarias y cuaternarias hasta 5 meses antes de los primeros síntomas de necrosis visibles en las flechas. Esto representa un desafío para los defensores de una hipótesis basada en una causa biótica primordial para la PC, pues deben explicar la aparición de estos síntomas en raíces con 5 meses de antelación de los primeros síntomas aéreos.

El autor, durante sus propias inspecciones de decenas de lotes en Colombia y Ecuador con PC, siempre ha observado que los sistemas radicales superficiales en los platos son muy reducidos en palmas con los primeros síntomas apicales, en comparación con palmas equivalentes en edad y aparentemente sanas en otros lotes del mismo material tenera donde la PC no ha ocurrido todavía. En las palmas con PC, las raíces terciarias y cuaternarias siempre mostraron anomalías, especialmente con las puntas redondeadas y deformes con color anormal. En muchos casos la corteza –la capa exterior normalmente marrón oscuro en color– de las raíces primarias era más frágil y fácilmente desprendible. En cambio, las raíces superficiales que crecen bajo las pilas de hojas viejas en descomposición, especialmente en lotes de palmas maduras –sin o con los primeros síntomas de la PC– casi siempre eran densas, sin distorsiones, de color crema y

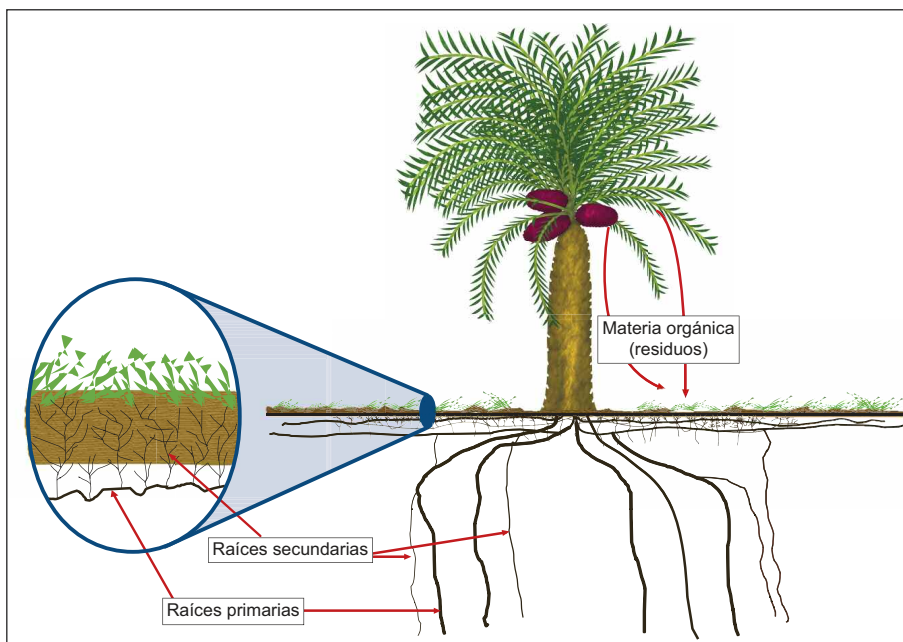


Figura 1. Representación del efecto positivo de la acumulación de material orgánico en la producción de raíces secundarias normales en la superficie del suelo. Esto se observa por ejemplo en plantaciones artesanales de muy bajos rendimientos. Raíces primarias verticales en un radio de ~2 m de la palma y hasta ~3 m de profundidad, dependiendo del contenido de Al^{3+} y de factores físicos en el perfil.

aparentemente activas. En particular, las raíces apogeotróficas (Jourdan et al., 2000), generalmente secundarias con crecimiento vertical arriba, fueron numerosas y activas (Figura 1).

Síntomas agravados por el picudo de la palma

El insecto picudo *Rhynchophorus palmarum* L. de la familia *Curculionidae* tiene un importante impacto económico en los cultivos de palma aceitera y cocotera en América. El picudo causa un daño directo por el desarrollo de larvas que cavan galerías en el tallo hasta el meristemo central. Este insecto es el principal vector del Anillo Rojo, una enfermedad muy seria especialmente en *Cocos nucifera* (Mexzón et al., 1994). Los adultos de este insecto saprofítico son atraídos por los olores de la podredumbre generada por la PC, con efectos fatales en el meristemo cuando presumiblemente las lesiones iniciales son suficientemente profundas para permitir a la colonia del insecto llegar hasta el meristemo central situado entre 50 hasta 90 cm por debajo del embudo, dependiendo de la edad de la palma. En América, muchos casos de la muerte de las palmas están asociados directamente con infestaciones del picudo de la palma.

La causa de la muerte de la palma

Algunos observadores, incluyendo al autor, han concluido que las palmas probablemente no mueren por la PC, sino por los efectos secundarios de la infestación saprofítica del picudo de la palma. Este último concepto no es aceptado por todos en la industria. Pero si se llegara a confirmar de manera definitiva esta hipótesis sobre la verdadera causa de muerte de las palmas, ello

implicaría que la palma de aceite –sin la presencia dañina y fatal del picudo– tiene un mecanismo que permite la plena recuperación de este desorden por medio de la emergencia gradual de hojas anormales hasta producir hojas normales. En esta misma línea de razonamiento, es posible que las primeras hojas pequeñas, con menos transpiración por razón del área foliar muy reducida, apoyen la palma con menor gasto fisiológico que permite a su vez la gradual recuperación del sistema radical y el meristemo central para evitar que la palma muera por estrés de agua.

Microorganismos propuestos causantes de la PC

En la **Tabla 1** se presenta un resumen de los agentes bióticos propuestos más importantes, reportados por los

investigadores en diversos países e instituciones en África y en América desde 1928 hasta la fecha. Una amplia gama de microorganismos omnipresentes en la naturaleza de ecosistemas tropicales, en su mayoría saprófitos, han sido identificados, tanto en los tejidos descompuestos como en los tejidos anteriores a la línea de la pudrición, en palmas con los primeros síntomas de la PC. Después de un sinnúmero de ensayos con miles de aislamientos, los patólogos han identificado un amplio rango de microorganismos como los posibles causantes.

Los Postulados de Koch nunca se han cumplido con respecto a los distintos microorganismos causantes propuestos en las investigaciones patológicas. Una de las principales razones para esto es el tercer postulado

Tabla 1. Resumen de la historia de los principales estudios fitopatológicos acerca de la Pudrición de Cogollo (PC) en *Elaeis guineensis* y listado de microorganismos identificados y/o propuestos como la causa del desorden aunque sin pruebas para satisfacer los Postulados de Koch^{1 y 2}.

Investigadores	Fecha	País palmero	Entidad principal	Organismos propuestos
Reinking ¹	1928	Panamá	United Fruit Co.	<i>Fusarium moniliforme</i>
Ghesquiere ¹	1935	Congo D.R.	Bélgica	<i>Phytophthora palmivora</i> , <i>Bacillus coli</i>
Bachy ¹	1954	Congo Rep.	Francia	<i>Fusarium</i> y bacterias
Duff ³	1963	Congo D.R.	Hermanos Lever	<i>Erwinia lathyri</i>
Renard et al. ¹	1964	Colombia	CIRAD Francia	<i>Fusarium (F. oxysporum y F. solani)</i>
Renard et al. ¹	1976	Colombia	CIRAD Francia	<i>Fusarium (F. oxysporum y F. solani)</i>
Harper et al. ¹	1982	Ecuador	Univ. Auburn USA	<i>Fusarium</i> y bacterias
Quillec et al. ¹	1983	Ecuador	Orstom Francia	<i>Phytophthora</i>
Van Gundy ¹	1983	Ecuador	Univ. de California	Nemátodos <i>Helicotylencus</i>
Renard ²	1986	Brasil	CIRAD-Embrapa	Pythium
Singh et al. ⁷	1988	Brasil	Embrapa Hortalizas	Viroides (ácidos nucleicos)
Silva ⁴	1989	Brasil	Denpasa	Hongos/bacterias (27 esp. identificadas)**
Nieto y Gómez ¹	1991	Colombia	Cenipalma	<i>Fusarium solani</i>
Dollet ¹	1991	Ecuador	CIRAD/IRHO	Virus o viroides (ARN de doble brin)
Beuther et al. ¹	1992	Brasil	Univ. Dusseldorf	Viroides (ARN de doble brin)
Allen et al. ¹	1995	Ecuador	Univ. de California	<i>Erwinia</i>
Nieto ¹	1996	Colombia	Cenipalma	<i>Fusarium, Pythium, Thielaviopsis</i>
De Franqueville ¹	1998	Ecuador	CIRAD Francia	<i>Fusarium</i>
Nieto y Gómez ¹	1999	Colombia	Cenipalma	<i>Fusarium, Pythium, Thielaviopsis</i>
Sánchez ¹	1999	Colombia	Cenipalma	<i>Phytophthora</i>
Trindade et al. ²	2000	Brasil	Embrapa-CPATU	Fitoplasma
Gómez ¹	2000	Colombia	Cenipalma	<i>Thielaviopsis paradoxa</i>
Martínez et al. ⁵	2008	Colombia	Cenipalma	<i>Phytophthora palmivora</i>
Torres et al. ⁶	2009	Colombia	Cenipalma	<i>Phytophthora palmivora</i>

Fuente: ¹De Franqueville (2001); ²Boari (2008) en Brasil; ³Duff (1963); ⁴Silva et al. (1995); ⁵Martínez et al. (2009); ⁶Torres et al. (2010) y ⁷Singh et al. (1988).

** Ver Tabla 2 para identificación adicional de los 27 microorganismos.

de Koch que especifica muy estrictamente que la reproducción de síntomas tiene que demostrarse sólo en palmas saludables y normales que crecen vigorosamente para luego inocularlas con una cepa pura (previamente aislada y cultivada) del organismo propuesto como causante. Uno de los conceptos centrales del autor de la presente hipótesis, de acuerdo con las conclusiones de Duff (1963) y Silva et al. (1995), es que las palmas susceptibles a la PC están malnutridas y por tanto tampoco están saludables, antes de la invasión de los tejidos apicales por los microorganismos saprofitos responsables de la pudrición de estos tejidos.

Investigaciones sobre las causas de la PC en el Congo

Las primeras investigaciones fitopatológicas detalladas y publicadas en el mundo sobre la PC fueron realizadas por Duff (1963), el entonces fitopatólogo en las plantaciones de los Hermanos Lever en la Provincia de Kwilu-Kasai en el suroeste de la República Democrática del Congo (Zaire). Duff, después de unos trabajos muy intensos y detallados en el campo y en laboratorios locales, propuso a la muy ubicua bacteria saprofitica *Erwinia lathyri* como el organismo causal. La identificación del organismo –cepa siempre aislada desde los tejidos de las flechas al frente de la línea de pudrición– fue confirmada por el Instituto Micológico de la Commonwealth en Inglaterra. La misma bacteria fue aislada en palmas sin síntomas de PC y también en palmas nativas sanas que crecían en las arboledas artesanales de las aldeas alrededor de las plantaciones comerciales.

Duff observó que la condición de PC sólo estaba presente donde existen factores ambientales que afectan la salud de las palmas, con graves incidencias sólo en plantaciones comerciales y en palmas insalubres que crecen en suelos altamente meteorizados (ferralíticos y ácidos). Estos oxisoles y entisoles del sur-oeste de la R. D. del Congo, son suelos típicos en los trópicos bajos y húmedos, con un pH muy bajo (normalmente <5.0 bajo cultivo), muy bajas capacidad de intercambio catiónico efectivo (CICE) y saturación de bases, y altos en acidez total y en la saturación de aluminio (Al) intercambiable.

En una observación muy importante, Duff notó también que los síntomas de Marchitez Vascular, el problema palmero biótico más limitante en África (Flood, 2006), frecuentemente precedieron la PC en las mismas palmas. Esta observación debe ser tomada en cuenta en futuros estudios sobre la posible relación de las incidencias de Marchitez Vascular asociada con condiciones edáficas ácidas e infértiles. Como se menciona arriba, Duff observó que las arboledas artesanales de los materiales nativos de *Elaeis guineensis* de las aldeas en las inmediaciones de las zonas comerciales devastadas con la PC no tenían síntomas de la condición. Informes recientes no

oficiales desde Costa de Marfil y Camerún han indicado que hay serias incidencias de la PC pero solamente en plantaciones comerciales en estos dos países.

Investigaciones sobre las causas de la PC en Brasil

Los trabajos del fitopatólogo Silva et al. (1995) revisados por Boari (2008) se realizaron en la plantación Dende do Para S.A. (Denpasa) con más de 100 000 palmas afectadas por PC entre 1974 y 1991. Silva confirmó las observaciones de Duff de que las áreas donde había una mayor incidencia de la PC coincidieron con parches de suelo con características no deseables para la palma, sea porque fueran muy arenosos o alternativamente suelos muy compactos, áreas con afloramiento de laterita a la superficie o áreas sujetas a inundaciones periódicas con mal drenaje. En su extenso trabajo, un rango muy amplio de organismos fueron identificados (**Tabla 2**) en palmas con síntomas, pero un sinnúmero de inoculaciones nunca produjeron síntomas completos en palmas saludables, y los postulados de Koch nunca fueron cumplidos. Los síntomas de la PC fueron inducidos tres meses después con la poda del 70% de las hojas en plantas del vivero que fueron previamente inoculados cada tres meses por un año sin signos de necrosis.

Estos últimos resultados confirman los obtenidos por Duff, quien también había inducido síntomas de la PC en palmas maduras 52 días después de la poda de todas las hojas –excepto las flechas– en plantas previamente identificadas como ‘sanas’ (con previas inoculaciones negativas). Las implicaciones fisiológicas de este último fenómeno están cubiertas en más detalle en la presentación en el sitio web del autor. A pesar de que los trabajos de Duff en el Congo aparentemente no eran conocidos en Brasil en estos años, las conclusiones convergentes de estos dos fitopatólogos son la base para sustentar una hipótesis abiótica como se hace en este artículo. Las investigaciones de los fitopatólogos Duff y Silva han recibido muy poca atención en la larga historia de la investigación científica de la PC.

La revisión detallada de la fitopatóloga Boari (2008) sobre los extensos trabajos bióticos que se llevaron a cabo por más de tres décadas en Brasil es otra historia de la PC. Estos estudios cubrieron un espectro amplio de especies de hongos, oomicetos, bacterias, virus, viriodes, fitoplasmas, insectos y nemátodos, y todas quedaron inconclusas en relación con las causas de la PC. Allí vale destacar un estudio de Laranjeira et al. (1998) quienes analizaron la evolución espacial de la PC en una plantación en el municipio de Benavides (Pará). Estos últimos investigadores llegaron a la conclusión de que la condición de la PC es abiótica en la naturaleza, porque no se ajustaba a ninguna norma establecida, ni para la apariencia ni para el crecimiento de los focos. Además, ellos no encontraron una dirección de difusión

Tabla 2. Microorganismos aislados en los tejidos apicales de palmas *Elaeis guineensis* con PC en la plantación Denpasa en el Estado de Pará, Brasil.

----- Hongos y Oomicetos -----		
<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	<i>Pythium</i> sp.	<i>Chaetomium</i> sp.
<i>Microsphaera olivácea</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Fusarium</i> sp.
<i>Rhizoctonia</i> sp.	<i>Curvularia pallescens</i>	<i>Fusarium oxysporum</i>
<i>Graphium</i> sp.	<i>Dacrylaria</i> sp.	<i>Mucor racemosus</i>
<i>Mycelia sterilia</i>	<i>Pestalotiopsis</i> sp.	<i>Curvularia hamata</i>
<i>Phytophthora</i> sp.	<i>Thielaviopsis</i> sp.	<i>Phoma</i> sp.
<i>Colletotrichum</i> sp.	<i>Phomopsis</i> sp.	<i>Gloeosporium</i> sp.
----- Bacterias -----		
<i>Aerobacter aerogenes</i>	<i>Erwinia herbicola</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>Bacillus polymyxa</i>

Fuente: Silva (1989), con identificación de las especies conducidas por I.L. Renard (IRHO), J.L. Bezerra (Ceplac) y Charles Robbs (UFRRJ) de acuerdo a la información histórica de las investigaciones sobre PC en Brasil realizada por Boari (2008).
 Los nombres de géneros o especies **marcados en rojo** fueron también identificados por otros investigadores como causas bióticas de la PC en Tabla 1.

preferencial, pero se observó una mayor presencia de palmas sintomáticas en las orillas de los arroyos. Conclusiones paralelas a las de Laranjeira et al. (1998) fueron derivadas por el autor de esta hipótesis a partir del análisis de los datos de Rojas (2005) sobre un censo espacial y temporal de la PC en una plantación en Colombia presentada en la penúltima sección de este documento y en el sitio web del autor.

Búsqueda reciente de las causas de la PC

La más reciente investigación patológica sobre la PC, conducida por Cenipalma en Colombia (Torres et al., 2010) mediante un protocolo experimental muy similar al de Duff, apunta exclusivamente al oomiceto (pseudohongo) *Phytophthora palmivora* como el organismo causal. Sin embargo, la identificación de *P. palmivora* como causa de la PC no ha cumplido con los Postulados de Koch. Un programa nacional de manejo de la PC ha sido montado en 2009 por Fedepalma-Cenipalma para los años 2009-2012. Este programa nacional está basado en una gama de procedimientos de controles fitosanitarios, incluyendo aplicaciones de una amplia gama de fungicidas específicamente para el control de *P. palmivora* (Martínez et al., 2009). La PC (AF) en Brasil (Boari, 2008) ha sido muy estudiada, pero no se dispone de soluciones efectivas todavía, especialmente en las zonas ambientalmente promisorias para la palma en el Estado de Pará al sur de Belem. Los otros países productores en América con graves incidencias de PC, aún no han adoptado programas nacionales de esta índole.

A pesar de las investigaciones realizadas por los expertos patólogos en trabajos muy bien dirigidos, extensos y detallados en muchos países a través de los últimos 80 años, las pérdidas siguen ocurriendo en todos los países donde hay zonas afectadas, especialmente en América. Según el criterio del autor, la larga historia de la PC es en sí misma razón suficiente para impulsar la búsqueda de causas abióticas para este devastador trastorno.

Hipótesis abiótica

La primera versión de esta hipótesis fue presentada formalmente por el autor en el programa de seminarios del CIAT en Colombia en junio de 2009. La segunda versión (Laing, 2010), con nuevas evidencias, fue presentada como ponencia invitada en el Congreso Ecuatoriano de Ciencia de Suelo en noviembre del 2010. La última presentación² contiene una amplia gama de evidencias en soporte de la hipótesis que complementan el presente documento.

En todas las descripciones de la PC, anomalías de las hojas más jóvenes –especialmente la aparición muy temprana de lesiones necróticas en las flechas– son los síntomas visuales iniciales más comunes. Según la hipótesis abiótica, la aparición de estos tejidos necróticos es causada por una invasión microbiana ocasionada por un variable repertorio de microorganismos saprofíticos y oportunistas (como hongos, oomicetos y/o bacterias) omnipresentes en ambientes tropicales húmedos. Esta hipótesis indica que la invasión de los tejidos por estos organismos es originada por un daño fisiológico

² Ver el archivo completo en <http://lapalmadeaceite.wikispaces.com>

primordial que ocurre antes de la emergencia de las flechas afectadas durante la fase de rápido crecimiento heterotrófico, es decir tejidos que no realizan fotosíntesis, sin transpiración y que reciben sustento de otras partes de la planta.

La hipótesis abiótica propone un mecanismo causal para explicar un trastorno fisiológico y nutricional que implica a toda la palma, es decir, desde las raíces de alimentación –las terciarias y cuaternarias– hasta los tejidos apicales, que causan anomalías estructurales –especialmente relacionados con insuficiencias en el pectato de calcio– durante la formación de las paredes celulares de los tejidos heterotróficos de las nuevas hojas en crecimiento rápido.

La hipótesis propone una deficiencia de Ca transitoria muy específica antes de la emergencia de las flechas, como la causa principal de la PC. La incidencia de esta deficiencia transitoria depende de las interacciones de un conjunto complejo de factores climáticos, genéticos, edáficos, nutricionales, agronómicos e hidrológicos condicionantes que inducen a la susceptibilidad relativa de palmas individuales o grupos de palmas creciendo en sitios que favorecen a la condición en función de características críticas del suelo que varían espacialmente.

Los casos de PC ocurren en palmas aisladas o en grupos de forma casi simultánea. Grupos de palmas contiguas en una zona específica pueden mostrar los primeros síntomas al mismo tiempo –típicamente a través de períodos de 1-4 semanas– en sitios que son denominados frecuentemente como “focos de infección”. Esta característica, muy común en casi todas las manifestaciones de PC, daría la imagen de la distribución espacial de una enfermedad clásica. El concepto todavía ampliamente sostenido de que la PC es en realidad una enfermedad clásica, parece derivado en parte de estas últimas observaciones.

Sin embargo, una de las características en la distribución espacial de la PC más contundente en contra de la presunción de enfermedad clásica, es la observación de que en casi todas las plantaciones existen palmas –supuestamente del mismo genotipo original– creciendo saludablemente e inmediatamente adyacentes a las áreas previamente afectadas por PC, y que además permanecen sanas por años después de la aparición de los síntomas iniciales en las palmas afectadas. Esta última característica es muy común en casi todas las zonas afectadas por la PC y no es explicada adecuadamente por los proponentes de una causa biótica por medio de una epidemia clásica. En pocas palabras: ¿Por qué estas palmas sobrevivientes no fueron atacadas también por el microorganismo tan virulento que supuestamente fue la causa de tanto daño entre las palmas afectadas anteriormente en el mismo sitio?

La explicación para este fenómeno de las palmas sobrevivientes en la presente hipótesis está relacionada con un umbral fisiológico entre las interacciones de las condiciones meteorológicas, edáficas y agronómicas que contribuyen a que los tejidos de algunas palmas (solos o en grupos) se mantengan sanas, debido a un menor riesgo de deficiencia de Ca en estos micro-sitios específicos.

Ecofisiología del calcio en plantas superiores

McLaughlin y Wimmer (1999) han presentado una amplia y completa revisión sobre el rol fisiológico del Ca en las plantas superiores como componentes de los ecosistemas terrestres. Hepler (2005) ha detallado las múltiples funciones y la complejidad fisiológica del Ca en las células de plantas superiores. Bangerth (1979) ha revisado la literatura sobre los desórdenes fisiológicos relacionados con la nutrición de Ca y concluyó que los desórdenes fisiológicos de Ca en ~30 especies estaban relacionados más frecuentemente con una mala distribución de Ca en la planta que con una deficiencia por una inadecuada absorción del suelo. Según todos los estudios disponibles, la absorción y el transporte de Ca desde la solución del suelo se da exclusivamente en forma del ion divalente de calcio (Ca^{2+}).

Transporte de calcio en el xilema

Prácticamente en todas las familias de plantas superiores –incluyendo todas las especies de palmas– la absorción y transporte de Ca^{2+} es esencialmente un proceso de flujo masivo, pasivo, unidireccional y vertical en la ruta apoplástica (vía las paredes celulares de raíces finas hasta el xilema). En plantas superiores, la gran mayoría del Ca es absorbido y transportado por medio de las paredes de las células radicales y no por la ruta simplástica, es decir a través del citoplasma de las células. La ruta apoplástica tiene la función de transportar el Ca^{2+} hasta los tubos interconectados del xilema entre los paquetes vasculares (McLaughlin y Wimmer, 1999).

Los paquetes vasculares en las palmas son típicos de las demás monocotiledóneas, con los diferentes elementos celulares del xilema y floema reunidos en la misma estructura (paquete) dentro del estípite. La ubicación de un paquete vascular en particular en el estípite no implica que este paquete se encuentre conectado y dedicado a surtir las hojas más cercanas en el espiral foliar palmero. Las interconexiones del sistema vascular son suficientemente complejas para asegurar que un paquete vascular en particular está sirviendo a todas las estructuras apicales de la palma de igual manera (Jack Fisher, 2009: Comunicación personal sobre la anatomía de palmas).

La tasa de absorción del calcio (Ca^{2+} en $\text{mg planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$) desde la solución del suelo es totalmente dependiente y

proporcional a la tasa de transporte de agua hacia los tejidos superiores de la palma vía el flujo de transpiración. La absorción y transporte de todos los otros macronutrientes móviles en el floema (N, P, K, Mg y S) y los menos móviles como cloro (Cl), cobre (Cu) y zinc (Zn) se realizan principalmente vía la ruta simplástica hasta el flujo líquido bidireccional en el floema y xilema. En general el proceso de absorción y transporte en el caso de estos nutrientes móviles en el floema requieren la participación de procesos activos y con consumo de energía, por lo tanto la absorción es relativamente independiente de la tasa diaria de flujo de transpiración (McLaughlin y Wimmer, 1999).

Absorción de Ca^{2+} por las raíces

Marschner (1995) menciona que la ruta inicial para absorción de Ca^{2+} por las raíces en plantas superiores es casi totalmente por medio de la ruta apoplástica, a través de las paredes de las células en la raíz que todavía no tienen la Banda de Caspari bien desarrollada. Existen trabajos que describen en detalle las raíces de la palma. Jourdan y Rey (1997) investigaron la arquitectura del sistema radical de *E. guineensis*, incluyendo las raíces apogeotróficas. Taillez (1971) estudió el sistema radical de la palma en suelos ácidos en el Magdalena Medio de Colombia. Se conoce de la ausencia de pelos radicales en palmas maduras en muchas especies, incluyendo las dos especies de *Elaeis* (Corner, 1966; Cherdchai et al., 2009; y com. pers. de Jack Fisher de Fairchild, 2009). Esto es un factor importante pues concentra la mayor parte de la absorción de Ca^{2+} en las raíces más finas y jóvenes.

La ruta apoplástica para el Ca^{2+} implicaría que la absorción inicial se da a través de las raíces más finas en las zonas cerca de los nuevos puntos de crecimiento que posee tejidos sin lignificación o suberización. En este sentido la ruta para el Ca^{2+} es distinta de la de algunos otros macronutrientes, especialmente N, K y Mg. Liew et al. (2010) reportaron sobre la contribución crítica de los puntos jóvenes de las raíces primarias (color crema-blanca) de la palma de aceite en la absorción de isótopos de fósforo. Estudios similares, pero usando los isótopos estables de Ca (como Ca^{44}), son necesarios en las dos especies de *Elaeis* para confirmar con mayor precisión las rutas de absorción del Ca.

La ruta casi única para la absorción inicial del Ca^{2+} implica que las raíces de las palmas deben continuar su crecimiento en forma densa, vigorosa y saludable para asegurar la capacidad de absorción continua, especialmente de Ca, en respuesta a la demanda ocasionada por el rápido crecimiento de las palmas. Esto es críticamente importante en sistemas de producción intensiva con altos niveles de fertilización (especialmente con N, P, K y Mg). La salud del sistema radical de las plantas superiores es vital para la salud de

la palma entera, especialmente para asegurar la absorción de nutrientes inmóviles en el floema como Ca, B, Fe y Mn. La presencia de alta concentración de Al^{3+} en la solución del suelo con $\text{pH} < \sim 4.6$ cerca de las raíces de alimentación –especialmente bajo condiciones inorgánicas alrededor de la rizosfera– tiene efectos muy drásticos sobre la absorción del Ca^{2+} como consecuencia de la interferencia con el crecimiento normal de las raíces, entre otros efectos negativos (McLaughlin y Wimmer, 1999).

Resumiendo, la absorción de Ca desde el suelo es vertical a través del xilema, no es móvil en los tubos del floema en ninguna dirección. Debido a la dominancia de las hojas como sitios de transpiración, la gran mayoría del Ca^{2+} es transportado diferencialmente hacia el follaje. Los tejidos en rápido crecimiento y sin capacidad de transpiración, como las flechas heterotróficas en el caso de las palmas, son los que tienen menos provisión de Ca y de otros elementos menores inmóviles (Hanger, 1979).

Relación entre la transpiración y la absorción de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+

La tasa de transpiración promedio de las plantas superiores por unidad de superficie terrestre se rige principalmente por las interacciones entre: (a) el área foliar funcional total de la copa de una planta por unidad de superficie de tierra (índice del área foliar); (b) la resistencia estomatal integral al intercambio de gases y vapor de agua; (c) por la disponibilidad de agua en el sector del perfil del suelo donde el sistema de raíz existente ha explorado efectivamente; y (d) por las condiciones micro-meteorológicas externas definidas por la intercepción de radiación neta diaria por la copa, y las interacciones entre la temperatura, la humedad del aire y la circulación del aire en la copa de las palmas.

En plantaciones de palmas, la alta humedad del aire y la baja incidencia de radiación solar reducen notablemente la transpiración desde la copa, especialmente durante largos períodos de fuerte nubosidad tropical asociada con períodos de lluvias prolongadas. Estas condiciones son muy comunes durante episodios de La Niña en los trópicos occidentales de América. Kirkby (1979) ha revisado la literatura sobre la muy estrecha relación entre la tasa de transpiración y la absorción de Ca por las raíces en plantas superiores.

Delvaux y Rufeikiri (2003) han demostrado la relación lineal entre la tasa de absorción de Ca (Ca^{2+} mg planta⁻¹ día⁻¹) y la transpiración diaria en bananos (litros planta⁻¹ día⁻¹), en tanto K y Mg dependen de procesos energéticos y por eso no tienen una relación directa con la transpiración. Estos autores también han cuantificado la extrusión de protones H^+ por las raíces en respuesta a la absorción en exceso de cationes (principalmente

NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}) ocasionando acidificación en el medio de crecimiento radical. Serrano (2003) identificó este último fenómeno como una de las principales causas de la acidificación de los suelos bananeros. La repetición de estos experimentos en *Elaeis* es muy importante para medir e ilustrar las diferencias fisiológicas del Ca en relación con los demás cationes.

Kallarackal y George (2004) han estudiado la transpiración desde la copa de la palma de aceite en plantaciones en tres zonas climáticas contrastantes en la India. Estudios similares son muy necesarios en América –especialmente en suelos ácidos con subsuelos altos en Al– para definir el rol de la variación diaria en la transpiración en relación con la absorción de nutrientes inmóviles, especialmente Ca^{2+} .

Los trabajos de Chang y Miller (2004 y 2008) sobre la necrosis apical en la monocotiledónea *Lilium* han demostrado con elegancia la relación entre transpiración, necrosis apical y el contenido de Ca. Una simple manipulación de las hojas inmaduras apicales –todavía enrolladas– aumenta la transpiración a través de estos tejidos inmaduros causando un incremento en los niveles de Ca, y esta acción resulta en una notable reducción en la incidencia de necrosis apical (un serio trastorno fisiológico de esta especie en invernaderos).

En resumen, con estos argumentos, se propone que la absorción de Ca^{2+} en palmas también disminuye bajo condiciones meteorológicas que conllevan a evapotranspiración reducida, en comparación con la tasa de absorción en condiciones más soleadas durante períodos secos, pero con suficiente reserva de agua en el perfil del suelo para evitar el estrés hídrico interno. Obviamente, durante largos períodos secos y sin riego la situación es distinta.

Movilidad e inmovilidad de nutrientes en el floema

Los datos en la **Figura 2** son un excelente ejemplo de estas importantes diferencias en la captación, acumulación y removilización de K, Ca, Mg en una tenera sin la práctica de la poda en Papúa-NG. Los datos demostraron que el Ca% se incrementa en las hojas en forma lineal desde la hoja No. 1 hasta hoja No. 64, y el K% y Mg% disminuyen. El estudio de Munévar et al. (2005) de Cenipalma sobre la variación en las concentraciones foliares de nutrientes según la edad fisiológica de las hojas en teneras en dos localidades edáficamente contrastantes en Colombia, Magdalena Medio y Piedemonte Oriental, es una confirmación contundente de las observaciones en Papúa-NG. El estudio en Colombia demostró que los nutrientes no movilizados en el floema (Ca, B, Fe y Mn) se acumularon entre la hoja No. 1 y la hoja No. 25 y los móviles en el floema (N, P, K, Mg, Cl, Cu y Zn) decrecieron –en diferentes grados– por razón de la removilización.

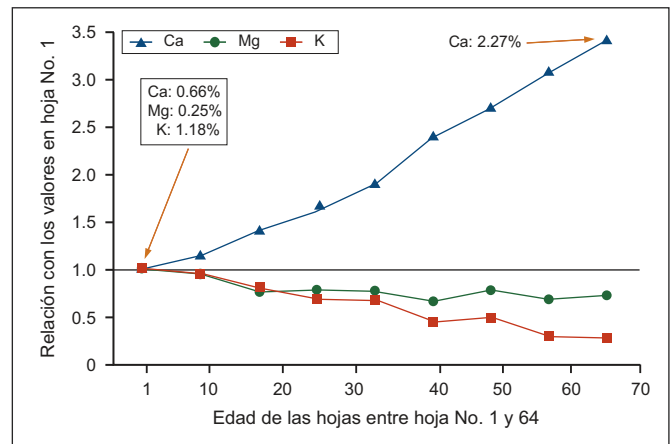


Figura 2. Contenido de nutrientes en la hoja, relativos a la hoja No. 1 en una tenera sin poda de hojas viejas, en parcelas comerciales rústicas cerca de la Estación Experimental DAMI en Papúa Nueva Guinea (Webb et al., 2009). El Ca% se incrementa durante el crecimiento de las hojas en forma casi lineal, porque este nutriente no es movilizado en el floema y la acumulación se da por cuanto las hojas siguen transpirando y absorben Ca en el flujo de agua. Por otra parte, el Mg y K son móviles en el floema y por esto los valores de estos nutrientes se reducen debido a la extracción desde las hojas viejas.

Funciones del calcio en la pared celular

Los estudios recientes de Scavetta et al. (1999), Herron et al. (2000), Hepler (2005) y Lecourieux et al. (2006) detallan el rol primordial del Ca en la defensa de las células de plantas superiores contra la invasión patológica de microorganismos. El pectato de Ca es un componente principal de enlace en la pared celular de plantas superiores y tiene funciones múltiples, tanto estructurales y fisiológicas, especialmente en la formación integral de tejidos durante la expansión y elongación rápida. Esto a su vez forma una barrera que evita la invasión por microorganismos saprofitos ambientales y al mismo tiempo mantiene la flexibilidad de las paredes que permiten la elongación y expansión de las células y el tejido en sí mismo (Hepler, 2005).

Las especies de microorganismos saprofitos y patológicos listados en la **Tabla 2** como *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Ceratocystis (Thielaviopsis)* y la bacteria *Erwinia* fabrican y secretan enzimas, como la polygalacturonasa, para atacar específicamente al pectato de Ca dentro de las estructuras de la pared celular, debilitando así las defensas contra la penetración de las hifas o bacterias en los tejidos (De Lorenzo et al., 2001).

Tejidos susceptibles a la deficiencia de calcio

En las condiciones especiales de la fisiología y anatomía de las palmas, existe un tejido específico donde muy probablemente hay episodios de inadecuado suministro de nutrientes inmóviles críticos (especialmente Ca^{2+})

durante el crecimiento rápido que exige más nutrientes. Estos tejidos son las flechas heterotróficas antes de la aparición visible en el embudo. Durante esta etapa las células de las nuevas flechas están en rápida elongación forzada por la presión de turgor en el interior de los tejidos. Con la vacuolización de estas células la demanda de Ca^{2+} se incrementa, no solamente por surtir a la vacuola –donde la concentración de Ca^{2+} es más alta en comparación del citoplasma– sino también para fortalecer las paredes celulares con pectato de Ca en la fase de rápida expansión.

Estudios en DAMI Oil Palm Experimental Station en Papúa-NG (Breure, 1994) que utilizaron el método de disección secuencial de la corona del estípite, han demostrado que la fase de crecimiento rápido y heterotrófico de las nuevas flechas –desde sus orígenes en las células primordiales de lento crecimiento en el meristemo– comienza en la etapa de la hoja -10 (es decir, en 10 hojas más jóvenes que la flecha emergida) y ~5 meses antes de la aparición de las flechas en el embudo (bajo condiciones ambientales casi óptimas para la palma y sembradas en densidades normales). Breure observó cerca de 50 grupos de células primordiales de hojas en cualquier momento en el meristemo central, esperando en fila por el turno para comenzar la fase de rápido crecimiento.

Como he mencionado arriba, uno de los síntomas comunes observados durante la fase de recuperación de la PC es la aparición de un número muy variable de hojas nuevas pequeñas y deformadas (originalmente propuestas, por error, como un síntoma inicial de la PC). Este fenómeno se explica por daños en los tejidos profundos durante un déficit transitorio de Ca^{2+} severo (por ejemplo en condiciones edáficas con acidez extrema o debido a la sobre aplicación de potasio (K) al plato) y/o durante períodos prolongados con baja insolación y evapotranspiración (por ejemplo, bajo condiciones meteorológicas prevalentes durante largos períodos sin interrupción de episodios de La Niña en los trópicos). Dependiendo de la profundidad de los daños fisiológicos, los tejidos de las futuras hojas (hasta un máximo de ~10 presentes en cualquier momento bajo condiciones normales) en crecimiento heterotrófico rápido resultan dañadas, produciendo al fin un número variable de hojas pequeñas y deformes, dependiendo de las condiciones de cada palma, antes de la emergencia de hojas normales y la eventual recuperación de la palma afectada.

Los tejidos reproductivos, masculinos y femeninos en su propio momento alternativo continúan saliendo conjuntamente con la aparición de las hojas, pero con reducciones muy variables en la tasa de emergencia en los meses previos a los síntomas visibles de la PC en las flechas. Estos tejidos reproductivos son raramente

afectados por signos de pudrición –por lo menos en primera instancia– durante los episodios de la PC. Es posible que estos tejidos hayan sido protegidos mediante la presión evolutiva por algún mecanismo fisiológico, correlación anatómica o temporal relacionada con las interconexiones del xilema y floema, que garantiza la supervivencia de los tejidos reproductivos cuando hay una limitación en el suplemento de Ca.

Deficiencias y toxicidades de nutrientes no movilizados por el floema

En la gran mayoría de plantas superiores, incluyendo todas las palmas, los nutrientes Ca, B y Mn son los tres más mencionados como no movilizados por el floema y por tanto no son removilizados después del transporte inicial vía ruta apoplástica hasta los tejidos receptores (Marschner, 1995). En las palmas en general, el hierro (Fe) también es inmóvil en el floema (Munévar et al., 2005). Durante las deficiencias en casi todas las plantas superiores estos cuatro nutrientes mostraron síntomas, distintos para cada uno y cada especie de planta, en las hojas más jóvenes y en los tejidos apicales nuevos.

En la hipótesis abiótica es importante considerar un posible rol de B, Mn, Fe y Si en relación con el origen de la PC. Los síntomas de deficiencias de B, Mn y Fe en los tejidos apicales de la corona de las palmas en general han sido descritos por Broschat y Elliott (2005) y en varias publicaciones específicas sobre la palma de aceite como las del IPNI (Fairhurst et al., 2005; IPNI, 2011). En general, la ocurrencia de síntomas clásicos de deficiencias de Mn y B no está asociada al mismo tiempo con los síntomas de PC. Según las observaciones del autor y otros colegas, los casos de síntomas clásicos de deficiencias de B y Mn en palma de aceite ocurren casi siempre donde no existe ningún síntoma de PC. Los datos de Romero (2009) reanalizados por el autor en la penúltima sección, demostraron que B, Fe, Mn y Si, elementos no removilizados por el floema, no tuvieron una relación consistente con la PC en cuatro plantaciones representativas de Colombia.

A pesar de que los síntomas de PC están frecuentemente presentes o son más acentuados en áreas con suelos muy ácidos ($\text{pH} < 4.6$), es muy improbable que la PC esté relacionada con la deficiencia de Mn. En muchos suelos, pero no en todos, el Mn se presenta más bien con altas concentraciones a $\text{pH} < 4.3$. También la alta disponibilidad de la especie de hierro (Fe^{2+}) soluble en casi todos los suelos ácidos es una evidencia de que este elemento no está implicado directamente, por medio de una deficiencia, en la ocurrencia de la PC. El silicio, considerado también un mineral inmóvil en el floema en *Elaeis*, era considerado hace algunos años como uno de los factores causantes en la PC, pero todavía los avances en este campo no son muy convincentes (Munévar y Romero, 2009; Romero, 2009).

Por otro lado, las toxicidades de Mn y Fe en suelos muy ácidos son mencionadas como posibles factores determinantes en el origen de la PC. En el caso de Mn los niveles de Mn foliar en hoja No. 17 son muy variables dependiendo del pH y la presencia de nódulos de Mn en los estratos superficiales del suelo. Los datos sobre porcentaje de Mn en la hoja No. 17, en palmas con PC son altos o bajos esta variación en los factores edáficos y todavía no hay indicaciones claras sobre una posible relación con la PC. En el caso de toxicidad de Fe los datos de análisis foliar disponibles por el autor de plantaciones en suelos muy ácidos, demostraron niveles foliares bajos o normales en palmas con los primeros síntomas de PC.

Las observaciones mencionadas en esta sección sobre las deficiencias o toxicidades de otros nutrientes como posibles causantes de PC fueron confirmadas en las investigaciones reportadas en la tesis de Romero (2009) en Colombia, especialmente para B, Mn, Fe y Si (todos inmóviles en el floema) y para todos los nutrientes móviles excepto Mg. Los resultados de este último estudio relacionado con Ca, Mg y K y la PC son analizados más adelante en este documento.

Factores agronómicos asociados con la PC

Alvarado et al. (1996) han estudiado la incidencia de PC en Costa Rica en relación con condiciones agronómicas, edáficas y climáticas. Una de las observaciones más destacadas fue que la PC era más frecuente durante períodos de alta precipitación y baja radiación solar. Suelos muy arcillosos y mal drenados también se asocian con elevadas incidencias de PC; esta conclusión está de acuerdo con los resultados de Munévar et al. (2001); Munévar y Acosta (2002); Acosta y Munévar (2003) y Chinchilla (2008). Según todos los datos disponibles, *E. guineensis* en general no está bien adaptada a condiciones de mal drenaje donde los estratos superficiales están saturados durante largos períodos. La salud radical, especialmente la de las raíces más finas, se ve fuertemente perjudicada por la saturación prolongada, lo que se compromete la capacidad de crecer continuamente para asegurar la absorción de Ca y los otros nutrientes inmóviles en el floema (como B, Fe y Mn).

El mejoramiento del drenaje es frecuentemente la primera línea de ataque contra la PC. En los estudios de Acosta y Munévar (2003), realizados en las plantaciones de la Zona Oriente en Colombia, se identificó la tendencia a una asociación entre mal drenaje y alta incidencia de la PC; pero estos mismos estudios demostraron que algunos lotes donde el drenaje era razonable la PC también estaba presente en alto grado. Experiencias en el Magdalena Medio de Colombia demuestran que la PC es normalmente severa en zonas mal drenadas, pero hay incidencias fuertes en suelos bien drenados.

Aparte de Albertazzi et al. (2005) otros investigadores apuntan hacia las anomalías en el sistema radical relacionado con la incidencia de PC, por ejemplo los trabajos de Van Slobbe y Souza (1991). Este holandés, con experiencia con las incidencias serias de la PC en Surinam y en Denpasar (Pará), fue uno de los primeros en hacer énfasis en que la ausencia de los puntos blancos sin deformaciones en las raíces más finas era el primer síntoma constante de la PC antes de la aparición de los síntomas apicales (Boari, 2008).

En las Américas las prácticas agronómicas generalizadas son una copia más o menos fiel del modelo palmero asiático, incluyendo el mantenimiento de los platos limpios. En esa zona la concentración de las raíces finas en palmas sanas que crecen en suelos razonablemente fértiles es casi siempre más densa, y es la misma zona donde se aplican normalmente la mayoría de los fertilizantes solubles. Fairhurst (1996) demostró la estrecha relación entre los sitios de alta densidad de las raíces y las zonas de aplicación de fertilizantes en el plato. Nelson et al. (2006) en un Andisol palmero en Papua-NG, confirmó estas últimas observaciones usando (como un índice de densidad de raíces) las proporciones de agua extraídas desde los estratos de suelos en el perfil a varias distancias del estípite. Estos resultados demostraron que las raíces activas estuvieron concentradas en la zona del plato con menor densidad bajo las pilas de hojas podadas y muy baja presencia en las calles de cosecha.

Los trabajos de Vlek et al. (2005) en un ultisol en Borneo –una región con muy altos rendimientos de aceite por hectárea y sin PC– apuntan claramente a las altas concentraciones de raíces –de todos los cuatro órdenes– cerca del estípite y en el estrato superficial del plato.

La zona del plato (20% del total del área sembrada) es continuamente desyerbada químicamente con glifosato y otros o físicamente con guadaña y/o azadón, de la vegetación de sotobosque (especies de hojas anchas, gramíneas y helechos). Estas prácticas supuestamente tienen efectos negativos sobre la salud de las raíces superficiales. En el mismo sentido, el estudio de Corpoica (Peña et al., 2008) en Tumaco (Colombia), sobre los efectos negativos de kudzu (*Pueraria phaseoloides*) en los primeros años de una siembra, también son muy preocupantes.

La acidificación edáfica está en plena marcha en Asia (Kee et al., 1995; Anuar y Goh, 2008 y Nelson et al., 2010) a pesar de los beneficios de altas dosis acumulativas de rocas fosfáticas, como importantes fuentes de Ca durante toda la larga historia de las palmas en Asia (Zaharah et al., 1985). Las pérdidas relacionadas con la Pudrición Basal del Estípite son la más seria amenaza a la industria palmera en esta región.

Es muy probable que las incidencias de esta enfermedad sean cada año más frecuentes y extensas, y que estén parcialmente relacionadas con la salud de los suelos, y específicamente con las condiciones de la rizosfera (Sapak et al., 2008).

Según las observaciones del autor, las aplicaciones de enmiendas de Ca (cal agrícola, cal dolomita, yeso agrícola y otros) en los suelos ácidos de América parecen muy limitadas en relación con la necesidad de nivelar el estatus de Ca con relación a los otros macronutrientes y prevenir o mermar la acidificación edáfica. La falta de suficientes enmiendas de Ca y otras prácticas adversas a través de los años en suelos susceptibles, especialmente en suelos con baja capacidad de intercambio de cationes efectivo (CICE) y baja capacidad de amortiguación, eventualmente afectan negativamente la salud del suelo y el sistema radical de las palmas, y por eso la alta probabilidad de deficiencia transitoria de Ca en nuevos tejidos.

La aparente ausencia de altas incidencias de PC en las arboledas tradicionales artesanales de las aldeas en África y Brasil, mencionada anteriormente, es un soporte importante para ésta hipótesis abiótica. Es muy probable que en estas condiciones rústicas el sistema radical de las palmas sea más saludable debido a la ausencia del uso de fertilizantes solubles y la presencia de un suelo del plato más orgánico en razón principalmente de la falta de control estricto de las malas hierbas (**Figura 1**).

En la misma línea conceptual, las miles de palmas de *E. guineensis* sembradas en las avenidas y calles urbanas en muchas ciudades tropicales de América aparentemente no han sufrido trastornos con los mismos síntomas típicos de PC. A pesar de las condiciones extremas y adversas que muchas de estas palmas han sufrido –principalmente falta de agua, restricciones físicas al desarrollo radicular, polución edáfica y atmosférica proveniente del tráfico vehicular–, estas siguen vivas y verdes después de más de 30 años. Es muy probable que los suelos –a través de los años– en estas franjas sean beneficiados por la polución vehicular y el polvo asociado con el tráfico.

Estudios realizados en Hong Kong subtropical (Jim, 1998), han demostrado que los suelos destinados para la siembra de árboles urbanos cerca de las carreteras son siempre más alcalinos que los suelos naturales en zonas comparables, pero más alejadas del tráfico. Suelos más alcalinos –pero no salinos– tienen una mayor disponibilidad de Ca y magnesio (Mg), y tienen una menor o nula disponibilidad de Al soluble. Sería de gran interés investigar los suelos de las zonas verdes cerca de las carreteras en el trópico de América donde hay palmas viejas saludables para confirmar estas últimas

observaciones sobre la alcalinidad de los suelos como una posible razón de esta condición.

Según la hipótesis abiótica, las prácticas agronómicas relacionadas con el uso y abuso del plato están directamente asociadas con el origen de la PC. El autor considera que el paradigma agronómico establecido en Asia para el cultivo de la palma –con prácticas agronómicas aparentemente apropiadas para esa región– es parcialmente responsable de la creación de condiciones aptas para la PC en América. Es muy probable que una solución efectiva a la PC demande un cambio drástico en las prácticas agronómicas. En este mismo sentido las incidencias de las otras limitaciones “fitosanitarias” de las palmas, especialmente en América, como las denominadas Marchitez Sorpresiva, Marchitez Letal y Marchitez Vascular, también pueden estar relacionadas con los problemas de salud radical-rizosfera en suelos susceptibles.

Claves de la hipótesis

En resumen: los fundamentos anatómicos y fisiológicos de la hipótesis abiótica son el que durante los cerca de 5 meses de rápido crecimiento –en palmas saludables y bajo condiciones climáticas normales para la palma de aceite– en la fase heterotrófica de las nuevas flechas, el contenido de Ca en los tejidos susceptibles se reduce por debajo de lo normal. Estos nuevos tejidos están estrechamente encerrados dentro del estípote circundante sin capacidad de fotosíntesis ni transpiración y provistas solamente con nutrientes y fotosintatos translocados desde el resto de la palma. Consecuentemente, están sujetos a deficiencias transitorias de nutrientes no movilizados por el floema, especialmente Ca, inducidas por la reducida absorción de este nutriente durante los períodos de baja transpiración, como sucede durante períodos densamente nublados (típicamente 3-5 meses en el trópico de las Américas).

Este último efecto es exacerbado cuando la solución del suelo contiene una baja concentración de Ca^{2+} y relativamente alta concentración de Al^{3+} , normalmente relacionado con suelos muy ácidos de $\text{pH} < 4.6$ en el estrato superficial del plato, que corresponde a la zona donde se encuentran la gran mayoría de las raíces finas de alimentación. Es muy importante notar que la concentración de Al aumenta en forma exponencial en condiciones de pH menor a 4.6 (Cristancho et al., 2010 a y b). Las condiciones de elevada competencia entre K^+ y Mg^+ contra el Ca^{2+} , disminuye la absorción del Ca e incrementa la probabilidad de incidencias de PC. Los suelos altos en la relación Mg:Ca son susceptibles a PC. Todos los factores que afectan la salud radical afectan la absorción de Ca^{2+} , que depende notablemente del continuo crecimiento de raíces terciarias y cuaternarias saludables.

Rol del calcio: evidencias bioclimáticas

Con el calentamiento global en curso, y los cambios climáticos desastrosos asociados que ahora se observan en casi todas las latitudes del mundo, los episodios de La Niña –es decir la fase fría de la Oscilación del Sur (El Niño-Southern Oscillation, o ENSO por sus siglas en inglés)– han sido menos frecuentes en los últimos 25 a 30 años, pero cuando se producen, como en el reciente episodio en 2008-2009 y ahora en 2010-2011, tienen efectos profundos en las actividades agrícolas en los trópicos occidentales de América. El brote muy destructivo de PC en la zona sur de Puerto Wilches, Santander, Colombia (coordenadas: N 7°17'; O 73°50') en las tres plantaciones más grandes de la zona con extractoras (Oleaginosas de las Brisas, Monterrey y Oleaginosas Bucarelia) y en las casi todas las plantaciones vecinas, parece estar relacionado con estos recientes episodios de La Niña.

En la **Figura 3** los datos del Índice Multivariado ENSO (MEI en Inglés) de NOAA, muestran la dinámica del ENSO entre 1994 y 2009. En este periodo hubo 2 episodios fuertes de La Niña: el primero en 1999-2001 y el segundo entre 2008-2009. Durante La Niña de 2008-2009 las precipitaciones fueron más altas que las normales con menos horas de sol y la humedad del aire fue más alta (datos no incluidos) durante un total de 15 meses casi continuos (**Figuras 4 y 5**).

Los registros de las incidencias de la PC en la **Figura 5** en la plantación Monterrey mostraron un máximo mensual censado de ~22 500 palmas (5% del total de las palmas de la plantación) de nuevos casos registrados con los primeros síntomas visibles de PC en las flechas en el mes de diciembre del 2008. Este evento catastrófico

ocurre después de 7 meses (mayo-noviembre del 2008) casi continuos de muy baja insolación.

En contraste, el año 2007 fue un periodo de crecimiento muy forzado con altos rendimientos de frutas, y por eso la acidificación edáfica localizada era exacerbada en los lotes más productivos. Según esta hipótesis, es muy probable que la fase lenta de incidencias nuevas entre diciembre del 2006 y ~febrero del 2008 fuera el resultado de la gradual acidificación de los suelos. Durante este periodo, el exceso de absorción de cationes (especialmente NH_4^+ , K^+ y Mg^{2+}) en relación con los aniones (principalmente NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y Cl^-) fue equilibrado con la extrusión –por medio de las raíces más activas– de protones (H^+) en la forma de ácidos orgánicos. La acidificación de los estratos de suelo cerca de las raíces –especialmente en la zona del plato– estaba acelerada durante el periodo. Consecuentemente, las condiciones de El Niño, con muy alta radiación solar, producen condiciones edáficas negativas que luego fueron combinadas con un periodo de muy baja radiación solar –que reduce la adsorción de Ca– durante La Niña muy intensa del 2008. Durante los 7 meses hasta diciembre del 2008, la absorción de Ca fue reducida, especialmente en micrositios más susceptibles a la PC. Esta combinación de condiciones provocó el peor episodio de la PC en la historia palmera de Colombia.

En Agosto del 2009, Monterrey registró un total acumulado de 219 006 palmas con síntomas de PC, lo que representaba un 50% del total sembrado en las 3145 ha. Los datos más recientes no confirmados, disponibles en un sitio web regional a julio del 2011, indican que la incidencia en Monterrey en el primer semestre del 2011 alcanzó más del 80% de las palmas acumuladas con síntomas de la PC.

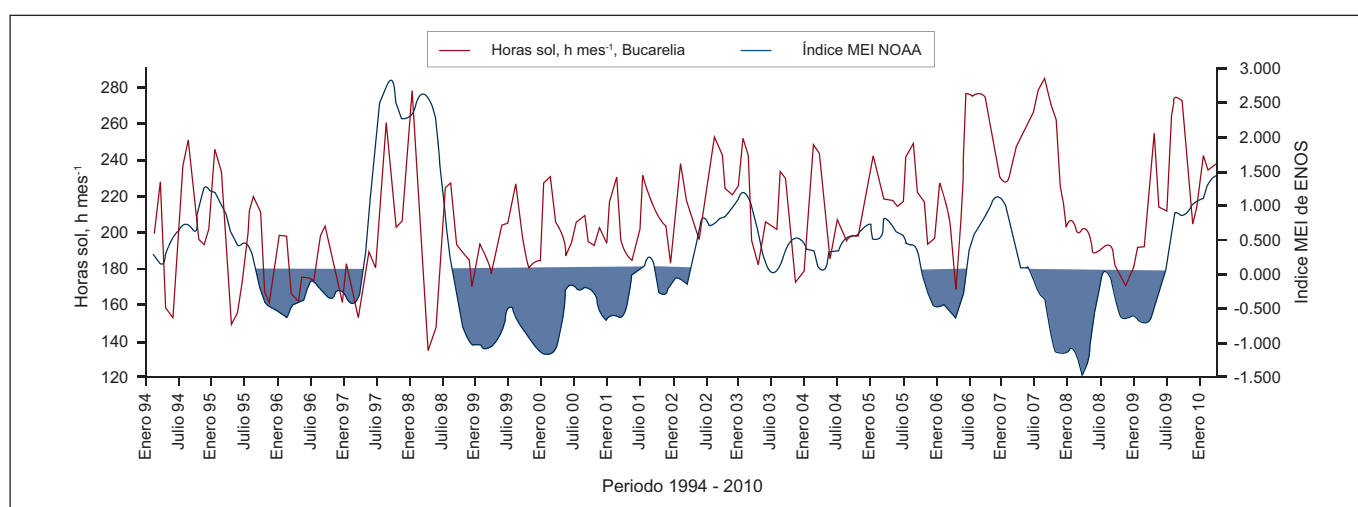


Figura 3. Horas de brillo solar mensual en la plantación Bucarelia, Puerto Wilches, Colombia (línea roja) e Índice MEI del ENSO según la NOAA (línea azul), para el periodo 1994-2010 de sobre las condiciones meteorológicas y oceanográficas del Océano Pacífico. Las zonas en azul corresponden a periodos con tendencia a La Niña según el índice (valores negativos). Entre 1994 y el 2010 ocurren dos fuertes episodios de La Niña: 1999–2001 y 2008–2009. La Niña de 2008–2009 fue más continua en los efectos de la reducción en horas de sol brillo (y por eso la radiación solar). La Niña de 1999–2001 fue más larga en tiempo pero con periodos intercalados de meses con más alta radiación solar. Datos MEI: www.esrl.noaa.gov/psd/people/klaus.wolter/MEI

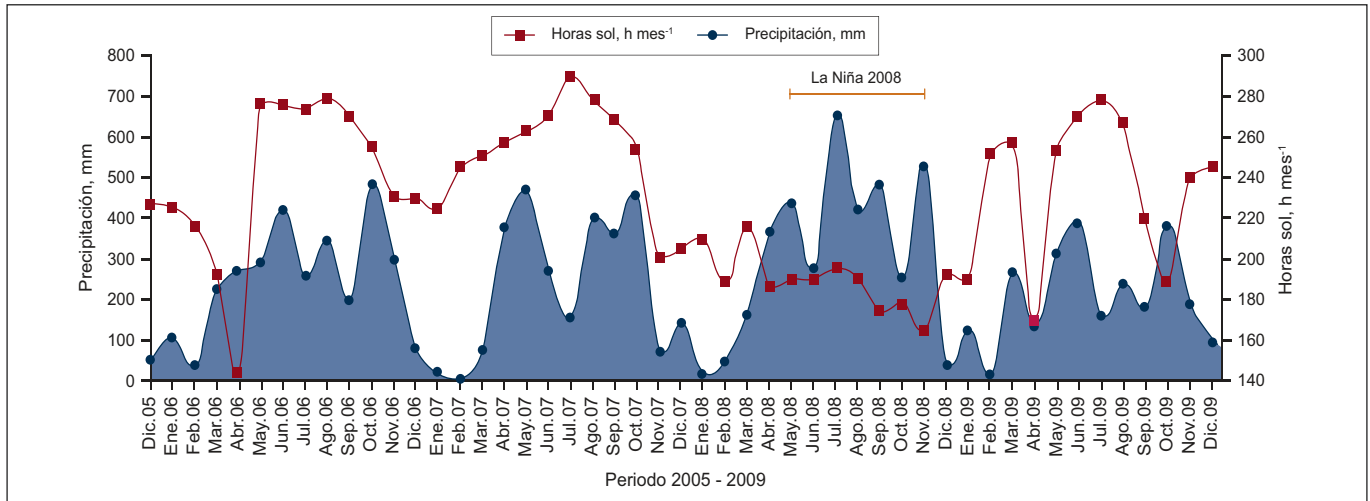


Figura 4. Promedios mensuales de precipitación (mm mes⁻¹, línea azul) y horas de sol (horas mes⁻¹, línea roja) en la Plantación Bucarelia, Municipio de Puerto Wilches, Depto. de Santander, Colombia durante 2005–2009. Durante La Niña de 2008–2009 hubo ~15 meses con baja radiación solar (noviembre 2007 hasta enero 2009) y también hubo precipitaciones más altas y continuas de lo normal durante los meses lluviosos del 2008. Las horas de sol mensuales fueron especialmente reducidas durante los meses de mayo 2008 hasta enero 2009. El pico de PC (como casos nuevos por mes) en esta zona de Puerto Wilches se dio en diciembre 2008 después de 7 meses, entre mayo 2008 y noviembre del 2008 de La Niña intensa. La marcada diferencia entre 2008 y los otros años fue que en este año la canicular normal de los meses de junio-julio-agosto –en este clima normalmente bimodal– no ocurrió por los efectos de La Niña.

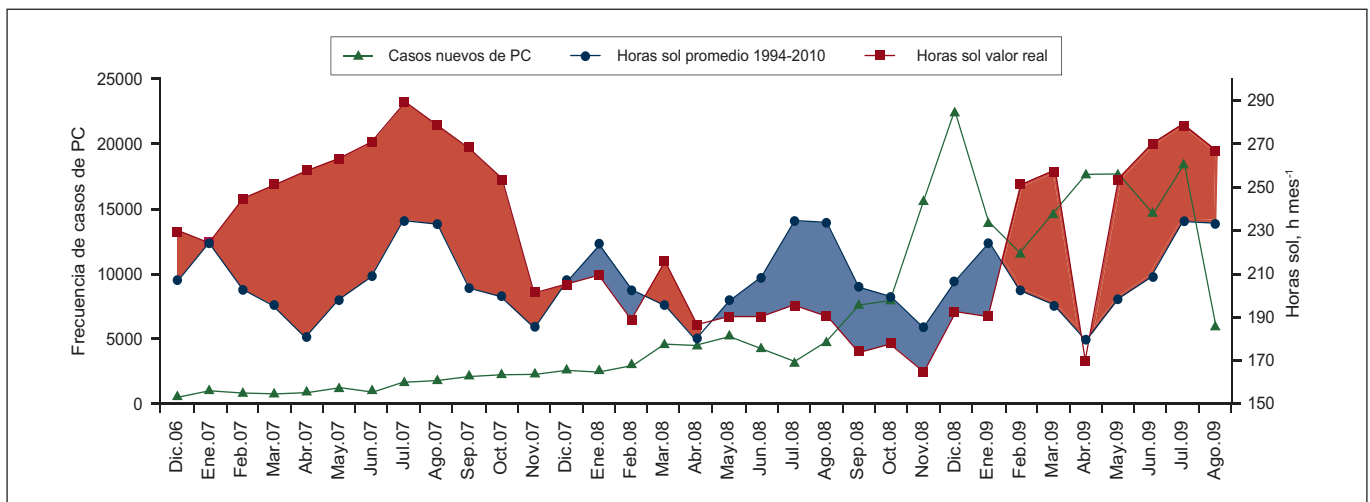


Figura 5. Horas de sol 2007–2009 e incidencia de PC (casos nuevas/mes) en la Plantación de Palmas de Monterrey, Puerto Wilches en el sur de Magdalena Medio, Colombia. Las zonas en rojo indican periodos La Niña, es decir periodos con horas de sol mes⁻¹ mayores que el promedio mensual entre 1994–2009. Las zonas azules indican los meses con horas de sol brillo por debajo del promedio mensual durante La Niña. El pico de casos nuevos de PC en la plantación Monterrey fue ~22 500 palmas en diciembre del 2008. Este evento catastrófico ocurrió después de 7 meses continuos (mayo–noviembre del 2008) de muy baja insolación (datos climáticos de la vecina plantación Bucarelia).

Los resultados de este análisis bioclimático apoyan la hipótesis según el cual el período más crítico de daño de las paredes celulares de los tejidos, debido a la deficiencia transitoria de Ca, podría ser justo después del comienzo del crecimiento rápido de las nuevas hojas hasta ~5 meses antes de la emergencia en el embudo. Esta conclusión es sustentada por la observación de que las primeras lesiones de PC en las flechas se presentan muy frecuentemente en el extremo distal de las nuevas hojas, la primera zona que comienza la fase de expansión rápida de las células desde el meristemo central, como ya se ha indicado (Breure, 1994).

El rendimiento de aceite crudo de palma (CPO) en la Zona Central palmera colombiana en 2008 fue el más alto en la historia del país con 5.0 t ha⁻¹ (Mesa, 2010). En el 2010, este valor se redujo un 46% hasta 3.2 t ha⁻¹. Este descenso, en gran parte, se explica por la PC. Según la hipótesis abiótica, todos los factores predisponentes de la PC estuvieron presentes en las plantaciones al sur del Magdalena Medio de Colombia en el 2008. Las manifestaciones inicialmente fueron en los sitios más susceptibles durante el segundo semestre de ese año. El pico de PC observado en la plantación Monterrey durante el período de La Niña, coincidió con los 7 meses de rápido crecimiento en condiciones de

transpiración reducida, lo que originó en las ~22 500 palmas sufrieran una deficiencia transitoria de Ca. En la opinión del autor, esto ocasionó un daño en las paredes celulares de las flechas inmaduras, creando condiciones apropiadas para que organismos saprófitos –comunes en el trópico húmedo– invadan los tejidos en el medio ambiente con humedad elevada. En este escenario, los diferentes microorganismos que han sido aislados en los estudios históricos sobre la PC desde los tejidos foliares, son síntomas de una condición fisiológica y no el origen de la PC.

Rol del calcio: evidencias genéticas

En los registros más recientes de los censos en plantaciones de Colombia y Ecuador (en base a los limitados datos accesibles), se observa incidencia de PC en todos los materiales comerciales de *Elaeis guineensis* (teneras y duras). Además, los híbridos interespecíficos (*E. guineensis* x *E. oleifera*), originalmente clasificados como resistentes a PC y luego como tolerantes, también han mostrado susceptibilidad, pero en menor grado que los materiales de *E. guineensis* bajo las mismas condiciones ambientales.

Existe una variación en el grado de susceptibilidad entre los materiales tenera comerciales cuyo origen es aparentemente genético, pero las evaluaciones no son consistentes a través de diferentes sitios de evaluación (ver los trabajos en Costa Rica de Sterling y Alvarado, 1996). En Costa Rica, Chinchilla (2008) observó, después de algunos años más de experiencias en ASD, que los materiales tenera derivados de los cruces entre *Deli dura* y *Avros* son relativamente más susceptibles a las diferentes sintomatologías de la PC en ese país. La variación en los rankings de susceptibilidad en algunos casos podría deberse a que ciertos materiales fueron sembrados en áreas de las plantaciones donde el suelo era más propicio para la PC.

Este último efecto tiene el potencial de distorsionar la clasificación de materiales desde diferentes fuentes en cuanto a la susceptibilidad a PC. Sin embargo, datos comparativos de diversas plantaciones en Colombia sugieren que el material tenera con madre y padre seleccionado por altos rendimientos de racimos por hectárea, y por otras características importantes en las progenies de la Estación Experimental DAMI en Nueva Bretaña (Papua NG), han mostrado consistentemente alta susceptibilidad a PC. Los materiales Papúa Flores y Papúa ASD estar entre los más susceptibles a la PC en Colombia, es decir con una

incidencia más rápida y/o un mayor nivel de incidencia final. La información en la **Tabla 3** es un ejemplo de los datos de los censos disponibles.

El autor tuvo acceso a los datos del censo mensual de otras grandes plantaciones en la zona oriental de Colombia, incluyendo Palmas de Casanare (**Figura 6**), sugieren que los materiales seleccionados en DAMI-Papúa desde las poblaciones de *Deli dura* x *Avros* están entre los más susceptibles a la PC con tasas de incidencias mensuales altas y/o en los niveles finales de las incidencias acumuladas.

En Malasia, Cristancho et al. (2010b) han estudiado en un invernadero los efectos sobre el crecimiento y la nutrición de diferentes concentraciones de Al soluble con plantas jóvenes en un cultivo hidropónico (pH 4.4) en 4 progenies (*Angola dura* x *Angola dura*, *Nigeria dura* x *Nigeria dura*, *Deli dura* x *Avros pisifera* y *Deli dura* x *Dumpy Avros pisifera*). El material más susceptible a la toxicidad de Al en términos fisiológicos y nutricionales durante los 8 meses de la prueba fue *Deli dura* x *Avros pisifera*. Estos resultados sustentan esta hipótesis, específicamente en relación con la alta susceptibilidad de este material a la PC en Colombia y Costa Rica. Uno de los más drásticos y rápidos efectos sobre la fisiología de las plantas superiores susceptibles es el efecto de altas concentraciones de Al soluble en el medio radical sobre la interferencia en la absorción de Ca (McLaughlin y Wimmer, 1999).

Implicaciones de la deficiencia de magnesio en Nueva Bretaña (PNG)

La deficiencia crónica de Mg en los suelos de la isla de Nueva Bretaña fue estudiada en DAMI en primera instancia en los años sesenta por la empresa Harrison y Crossfield (entonces dueños de las operaciones). Los

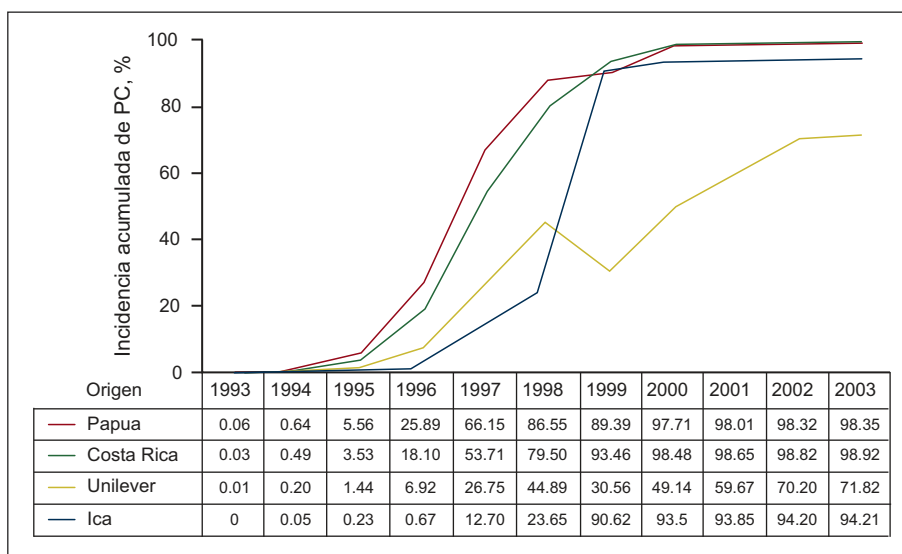


Figura 6. Incidencia anual acumulada de PC en cuatro materiales sembrados en Palmas del Casanare (Municipio de Villanueva, Casanare, Colombia) entre 1993 y 2003. Fuente: Datos de la plantación reportado por la Ing. Marta Lya Hernández en Las Brisas en 2009.

Tabla 3. Censo de materiales de la plantación Oleaginosas Las Brisas (Puerto Wilches, Colombia): áreas sembradas e incidencia acumulada en porcentaje de PC a julio del 2009.

Material/Padres	Fuente de materiales de siembra	Área sembrada ha	PC acumulada %
Papua Flores (<i>Deli dura x Avros</i>)	DAMI-PNG via Las Flores	43	14.6
IRHO (<i>Deli dura x La Mei</i>)	La Mei, Costa de Marfil, CIRAD	90	11.5
<i>Deli dura x Nigeria</i>	ASD (Costa Rica)	35	11.3
Papua ASD (<i>Deli dura x Avros</i>)	Dami-PNG via ASD, Costa Rica	1138	10.6
<i>Compacta x Nigeria</i>	ASD (Costa Rica)	17	6.6
<i>Deli dura x Ghana</i>	ASD (Costa Rica)	91	6.3
PAMOL	PAMOL	23	5.5
IRHO 2501	IRHO/CIRAD	369	4.7
Unilever	Unilever	18	4.6
IRHO 2550	IRHO/CIRAD	83	4.5
<i>Tanzania x Ekona</i>	ASD, Costa Rica	58	4.4
IRHO 1001	IRHO/CIRAD	224	4.4
Tenera ICA (<i>Deli dura y Yangami</i>)	Corpoica, Tumaco, Colombia	137	3.7
<i>Deli dura x La Mei</i>	ASD (Costa Rica)	24	3.7
Pamol-Camerun	Pamol	18	3.6
Pamol-Unilever	Pamol	8	3.2
Pamol-Zaire-Unilever	Pamol	92	3.0
Camerun	Pamol	8	2.5
Mezcla	Local	21	2.0
Pamol-Camerun-Unilever	Pamol	39	1.9
IRHO 2551	IRHO/CIRAD	31	1.7
Costa Rica	ASD, Costa Rica	62	1.7
Hibrido (OxG) Unipalma	Unipalma, Colombia	12	1.1
Total afectado y el % de PC ponderado		2641	7.4

Fuente: Datos del censo de la plantación.

suelos de la zona norte-oeste de la isla están formados sobre cenizas volcánicas recientes (Webb et al., 2009). Los minerales del suelo son dominados por el feldespato básico plagioclasa (con fórmula química $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). La primera identificación de la existencia de la deficiencia de Mg en palmas teneras en esta zona fue publicada por Mendham (1971). En estos años, Mendham era un agrónomo de la compañía supervisado por el autor en el programa de maestría de la Universidad de Sídney (Australia).

Posteriores estudios agronómicos y edáficos muy detallados en un proyecto colaborativo entre los investigadores de la compañía, los del sector oficial del país y los de Australia sobre el problema de deficiencia de Mg fueron conducidos bajo los auspicios de ACIAR (Webb et al., 2009).

Los estudios sobre la deficiencia de Mg, a pesar de lo completo de los mismos, no fueron exitosos en encontrar una solución agronómica a este problema. En apariencia, por los muy elevados niveles de Ca y el bajo contenido de Mg en estos suelos, la competencia natural que existe entre Ca y Mg, y la interacción negativa sobre los dos de las altas aplicaciones de K, favorecen el apareamiento de las deficiencias de Mg (ver la Sección sobre los estudios de Romero, 2009).

El mejoramiento genético terminó siendo la estrategia –consciente o inconsciente– para solucionar el problema por parte de los investigadores relacionados con DAMI durante todos los años desde ~1965 hasta la fecha. Las más importantes poblaciones generadas fueron las teneras (F1) comerciales obtenidas del cruce *Deli dura* (madres) con el *pisífera Avros*³.

³ Información en el sitio web de la compañía indicó que estos materiales genéticos fueron los más utilizados en el pasado: <http://www.nbpol.com.pg/research/index.html>

Los padres fueron seleccionados por el alto rendimiento de las progenies bajo condiciones de deficiencia crónica de Mg en un ambiente de campo casi óptimo para la palma en todos los otros parámetros como climáticos, edáficos y fitosanitarios. Las selecciones fueron muy exitosas entre poblaciones para identificar líneas élites de estos progenitores para una mejor capacidad de recombinación de las características deseadas durante más de 40 años. Los materiales tenera de DAMI, con altos niveles de productividad de racimos, la precocidad para rendir, porcentaje de recuperación de aceite en el procesamiento y la calidad de aceite, están entre los más exitosos en el mundo disponibles para la industria palmera. Los materiales con ambos padres seleccionados en DAMI están ampliamente sembrados en muchos países en las Américas, y son importantes en las cuatro regiones de producción de Colombia.

Los trabajos de mejoramiento genético conducidos por DAMI (Breure y Bos, 1992) fueron diseñados para demostrar la factibilidad de seleccionar progenitores en base a varios criterios fisiológicos, incluyendo el contenido de Mg en la hoja No. 17 en las progenies. Dado que Mg fue ampliamente probado como el principal factor limitante del rendimiento en la zona, la selección con altos niveles de Mg foliar fue el más exitoso de los diferentes índices utilizados. Por tanto, el porcentaje de Mg en hoja No. 17 era utilizado como garantía de altos rendimientos en las progenies teneras para este agro-ecosistema.

Otros estudios genéticos recientes en Papúa New Guinea (Webb et al., 2009; Nelson Com. Pers.) entre las progenies de cruces *Deli dura x Deli dura* y *Deli dura x Avros* han demostrado que la selección para alto Mg foliar en los padres, al mismo tiempo era muy efectivo en incrementar paralelamente el contenido de Ca en las progenies desde la hoja No. 1 hasta la hoja No. 25, a pesar que este último resultado no estuvo entre los objetivos originales de la selección. La selección en condiciones edáficas de bajo Mg ha producido progenies proporcionalmente con mayores niveles de Ca foliar.

La genética y la PC

El autor sugiere que los materiales de DAMI derivados de cruces donde ambos padres (generalmente líneas de *Deli dura* y *Avros*) fueron seleccionados desde poblaciones mantenidas a través >40 años de selección intensiva en los suelos volcánicos con una deficiencia crónica de Mg (sin soluciones agronómicas) han producido progenies teneras con un requerimiento de Ca artificialmente alto. Esta condición supuestamente está dando las características de “consumo lujoso” de Ca para asegurar el crecimiento eficiente cuando Mg es

deficiente en el suelo. En otras palabras, los canales fisiológicos de absorción nutricional han asegurado que con la más alta absorción de Ca también se garantiza una más alta absorción de Mg. El incremento en Mg por medio de la selección intensiva ha producido genotipos con alta demanda de Ca, y estos materiales fueron muy exitosos en suelos con niveles de Ca razonable pero no en suelos con deficiencia crónica de este nutriente, como nuestras tierras muy meteorizadas en los trópicos de las Américas.

El Ing. Edgar Ignacio Barrera (2009) de Bucarelia (Com. Pers., 2010) ha observado que estos materiales de Papúa tienen una apariencia más suculenta en los tejidos foliares (más blandas y suaves) que los demás materiales sembrados en la plantación. La falta de Ca para reforzar las paredes de las células foliares puede ser una de las posibles causas de este fenómeno. Durante la visita a Bucarelia en Agosto del 2009, el autor recibió observaciones por parte de los agrónomos de varias plantaciones sobre la aparente susceptibilidad a PC de los materiales teneras con ambos padres seleccionados en DAMI, Papúa New Guinea.

Es muy probable que esta característica genética relacionada con el Ca no sea compatible con los suelos palmeros ácidos de las Américas, especialmente donde el nivel de este nutriente es muy limitado y el Al es muy alto. La susceptibilidad diferencial y exagerada de estos últimos materiales por la deficiencia de Ca es probablemente uno de los resultados de estas tendencias dinámicas poblacionales a largo plazo en DAMI.

La tenera “IRHO” (supuestamente con padres *Deli dura x La Mè*), ampliamente sembrada en Colombia y derivada por medio de la selección de los padres en la estación La Mei de IRHO/CIRAD en Costa Marfil, también ha demostrado niveles de susceptibilidad en datos de varias plantaciones en Colombia, incluyendo Las Brisas y Monterrey⁴.

El estudio nutricional de Cristancho et al. (2011) conducido en la plantación Guaicaramo (Llanos Orientales de Colombia) entre híbridos teneras (DxP) e interespecíficos (OxG) ha demostrado que los niveles de Ca y B foliar en la hoja No. 9 y luego hasta la No. 17 eran consistentemente más altos en el híbrido OxG que en los DxP (todo en palmas inmaduras) durante los 6 años de crecimiento en el campo bajo condiciones comerciales corrientes cuando todos los otros nutrientes foliares eran más bajos en el híbrido OxG. Estas indicaciones, con confirmación en otros ambientes, son evidencias de que la genética del progenitor macho (*Elaeis oleifera*) es el producto de la evolución de esta especie Americana en los suelos muy ácidos e infértiles en la cuenca amazónica dando una adaptación a estas condiciones por medio de

⁴ Información reportada por los agrónomos de varias plantaciones colombianas en un seminario participativo con contribuciones del autor en Las Brisas en Agosto de 2009.

una alta eficiencia en la absorción de Ca y B desde estos oxisoles y ultisoles meteorizados. Estos últimos resultados son perfectamente compatibles con la presente hipótesis abiótica cuando la demostrada susceptibilidad reducida de los híbridos OxG a la PC se tiene en cuenta. Es muy probable que la mayor tolerancia a la PC de los materiales OxG esté relacionada con una mayor eficiencia en la absorción de Ca en suelos muy pobres en este nutriente.

Futuras investigaciones fisiológicas entre fuentes de germoplasma contrastante serán muy importantes para definir y confirmar estas tendencias genéticas en el tenor de Ca foliar, y las implicaciones nutricionales en suelos muy ácidos. La confirmación de este factor genético en la susceptibilidad diferencial a la deficiencia de Ca en las incidencias de la PC puede ser una de las pruebas más contundentes sobre el rol central de Ca como la causa fundamental de la PC.

Rol del calcio: evidencias agronómicas

En esta sección se analiza la historia de un lote en la plantación Oleaginosas las Brisas en el Municipio de Puerto Wilches en el Departamento de Santander (Colombia) para demostrar la influencia de factores agronómicos sobre la PC, en el contexto de las condiciones edáficas, climáticas y la genética del material sembrado. La plantación completa hasta Julio del 2009 tuvo una leve incidencia de PC, solamente 6.4% de casos acumulados en comparación con los dos vecinos Monterrey y Oleaginosas Bucarelia donde las incidencias fueron cerca al 50% en ambos casos. En septiembre del 2010, Oleaginosas Las Brisas registró 30% de incidencia acumulada de PC, Bucarelia 60% y Monterrey 80%. La incidencia de PC se ha incrementado durante el primer semestre del 2011 hasta niveles catastróficos de más del 80% acumulado en muchas más plantaciones en esta zona del Magdalena Medio de Colombia. Los impactos económicos y sociales de la PC en esta región son realmente dantescos.

Características edáficas del lote L5 en Las Brisas

La incidencia de la PC fue estudiada por el autor en colaboración con los agrónomos en el lote (L5) con un total de 1950 palmas en ~20 ha sembradas en 1997 con la tenera 'Papua Flores' a la densidad normal de 143 palmas ha⁻¹, en un suelo clasificado Inceptisol caolínico, franco, muy ácido, bien drenado y típico de los suelos viejos meteorizados del origen Terciario del valle del río Magdalena.

El lote L5 está ubicado a una distancia de ~12 km del río Magdalena y ~1.8 km del río Sogamoso –en los puntos más cercanos– y con altitud de ~90 m cuando las riberas del río principal son de ~68 msnm. El lote está ubicado en suelos típicos de la formación geomorfológica de terraza media del Magdalena Medio con leve pendiente. El sistema integral de drenes de la plantación fue

instalado en la zona del lote para asegurar que las épocas de saturación de la superficie sean reducidas al mínimo posible, a pesar de las altas lluvias recibidas entre 2008 y 2011. Las palmas en este lote eran muy uniformes, y tuvieron una productividad muy aceptable de >25 t ha⁻¹ de racimos de fruta fresca en los tres últimos años (2007-2009). El lote tuvo 5% de casos acumulados de PC en el censo de Julio del 2009. Los resultados promedio y el rango de valores de los análisis del suelo de 4 muestras (0-20 cm de profundidad) tomados desde los platos en Septiembre del 2009 se presentan en la **Tabla 4**. Las características del suelo son típicas de un Inceptisol con alto contenido de arena y limo y solamente con 9-12% arcilla. Sorpresivamente el suelo tiene un alto contenido de materia orgánica (5.7% hasta 7.2%) probablemente derivado de un periodo con cubierta de kudzu entre 1997 hasta cerca del 2004.

El pH era muy bajo con un valor mínimo de 3.88 y un máximo de 4.5 y una saturación de Al muy alta como un reflejo directo de la acidez. La CICE era muy baja (3.6 hasta 5.7 cmol_c kg⁻¹) con una gran diferencia entre la CIC y CICE. Los suelos caolínicos frágiles con estas características presentan carga variable, lo que implica que con la acidificación la CIC se reduce y se tiene menos capacidad para la retención de las bases críticas (K, Ca y Mg) y se intensifica la competencia en la disponibilidad de estos nutrientes. El alto contenido de carbón orgánico posiblemente indica que los sitios negativos de carga disponible en la CIC estaban ocupados con H⁺ de los ácidos orgánicos derivados de la descomposición de material orgánico muy lábil del kudzu y/o posiblemente por la secreción –desde las raíces más activas hasta la rizosfera– de ácidos orgánicos (Delvaux y Rufuikiri, 2003). El suelo era relativamente bajo en Mn, Fe y B pero las palmas no han demostrado ningún síntoma de deficiencia de estos u otros nutrientes menores.

El suelo, con bajo contenido de arcilla y alto en arena, probablemente tiene una baja capacidad de amortiguación frente a los cambios de pH producto de las prácticas acidificadoras de fertilización con sulfato de amonio y otros amoniacales, en el manejo del plato en general y posiblemente desde los efectos directos y/o residuales del kudzu, especialmente en la aceleración de la lixiviación de Ca²⁺ en par con NO₃²⁻ (último derivado de la descomposición de material orgánico durante los ~4 años después de la dominación casi total del kudzu –que es muy común en esta zona–.

Las dinámicas nutricionales del lote L5 (2000-2009)

Los datos derivados del monitoreo rutinario de los niveles foliares (hoja No. 17) de nutrientes (2000-2009), las aplicaciones de fertilizantes al plato (2004-2009) y los rendimientos anuales (2000-2009) se presentan en la **Figura 7**. La dinámica temporal de los niveles foliares

Tabla 4. Análisis de los suelos en el plato del Lote L5 en Oleaginosas Las Brisas (Puerto Wilches, Colombia): Septiembre del 2009.

Variable	Unidades	Promedio	Interpretación	Rango de Valores
Arena	%	45	-	40-50
Arcilla	%	10	-	9-12
Limo	%	45	-	39-50
pH (Agua)	Unidades	4.30	Bajo	3.88-4.50
Materia orgánica	%	6.6	Alto	5.7-7.2
Potasio	cmol _c kg ⁻¹	0.67	Alto	0.32-1.14
Calcio	cmol _c kg ⁻¹	0.58	Bajo	0.34-0.73
Magnesio	cmol _c kg ⁻¹	0.46	Bajo	0.29-0.66
Aluminio	cmol _c kg ⁻¹	2.88	Alto	2.47-3.32
Fósforo	mg kg ⁻¹ P	116	Alto	38-237
CIC	cmol _c kg ⁻¹	13.1	Mediano	11.7-14.6
CICE	cmol _c kg ⁻¹	4.7	Muy bajo	3.6-5.7
Saturación bases	%	37	Bajo	24-49
Saturación K	%	13.4	Alto	5-23
Saturación Ca	%	12.4	Muy bajo	9-16
Saturación Mg	%	9.5	Bajo	8-11
Saturación Al	%	63	Alto	51-76
Ca:Mg	Relación	1.34	Bajo	0.8-1.92
Ca:K	Relación	0.86	Muy bajo	-

Fuente: Análisis realizado por Cenipalma con 4 muestras tomadas a 1 y 2 m del estípite y entre 0 a 20 cm de profundidad.

indican, como es de esperar, una fuerte interacción entre Ca y K relacionada con la competencia entre estos nutrientes. Los pocos cambios en P y Mg indican por otra parte, que las influencias más importantes sobre la PC probablemente residen en las relaciones entre K y Ca. El rendimiento comparativamente bajo en 2006 de 23 t ha⁻¹, probablemente está relacionado con el reducido contenido de K foliar en enero 2006 combinado con un evento moderado de La Niña que ocurrió en este mismo año con varios meses de baja insolación. Entre 2007-2009 las altas fertilizaciones (sin enmiendas de Ca oportuno) para compensar por este año de bajo rendimiento fueron responsables de una reducción en el nivel de Ca en enero del 2009 hasta 0.40% en la hoja No. 17. Este último valor de Ca está muy por debajo del nivel crítico (0.65% Ca) definido por los estándares internacionales (Fairhurst y Härdter, 2003 y Fairhurst et al., 2005). Estos datos rutinarios del Lote L5 tomados en enero-febrero sobre N, P, K, Ca y Mg fueron confirmados en septiembre del 2009, especialmente por el muy bajo Ca de 0.45% en la misma hoja No. 17 (Tabla 5).

Los resultados de Ca, K, y Mg del lote L5 con síntomas de PC están incluidos en la **Tabla 5** para la hoja No. 1 y la hoja No. 17 en comparación con los datos de otros agro-ecosistemas, dos en suelos contrastantes en Colombia (sin PC) uno en Papúa NG (sin PC) y cuatro plantaciones en Colombia donde los valores para los tres nutrientes fueron determinados en dos edades de hoja y para dos estados de desarrollo de la PC. Los datos de Romero (2009) incluidos en la **Tabla 5** son analizados con mayor detalle en la siguiente sección y representan un paso muy importante en la resolución de esta aparente paradoja.

Rol del calcio: evidencias nutricionales

Un detallado estudio reciente sobre la posible asociación de la nutrición de la palma con la incidencia de la PC, especialmente sobre el rol de silicio (Si), fue reportado por Munévar y Romero (2009) con detalles reanalizados por el autor desde la Tesis de Maestría de Alicia Romero (2009). El estudio, realizado sobre palmas sanas (sin síntomas de la PC) y palmas con los primeros síntomas iniciales de la PC en las flechas, fue conducido en cuatro plantaciones (Bucarelia y

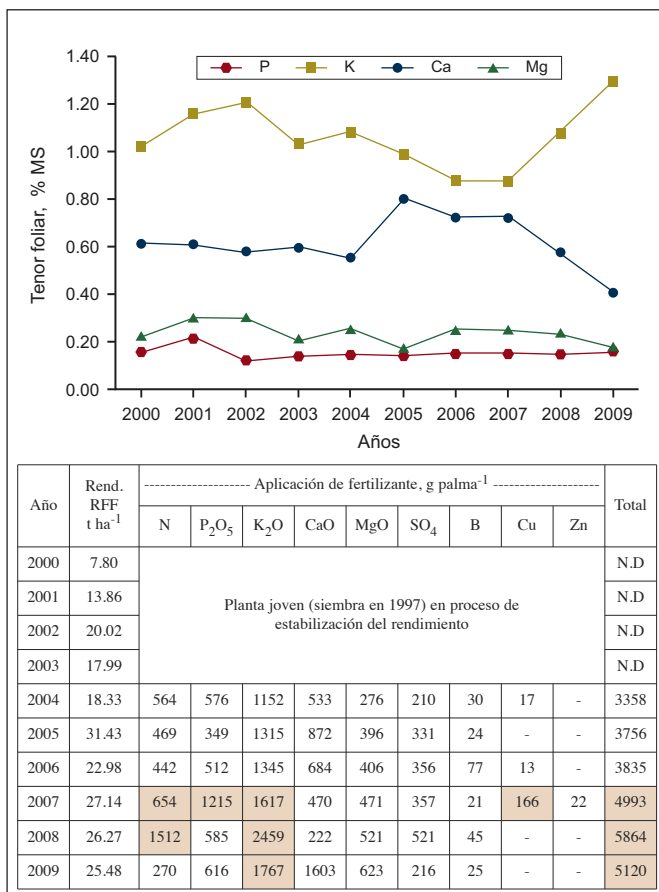


Figura 7. Cambios en el contenido foliar de nutrientes en los análisis rutinarios de la plantación entre 2000 y 2009, y rendimientos anuales de racimos de fruta fresca (RFF) (2000–2008) y aplicaciones de fertilizantes en el lote L5 de Las Brisas (2004–2009). Los valores resaltados en la tabla corresponden a valores excesivos de aplicación de fertilizante.

Interpretación: Los cambios en tenor foliar son mas exagerados en K y Ca foliar en respuesta a las altas aplicaciones de fertilizante de K (2007-2009) y los efectos de la alta aplicación de fertilizante amoniacal en 2008. El valor muy bajo de Ca en la hoja No. 17 que se anticipa para el inicio del 2009 fue confirmado por los análisis foliares en septiembre del 2009 con un valor de Ca = 0.45% y K = 1.3% (muy alto), todo analizado en hoja No. 17. El lote demostró pocos cambios en Mg y P foliar a través de los 10 años. El bajo rendimiento en 2006 de 23 t ha⁻¹ fue el estímulo aparente para incrementar las altas aplicaciones de NPK en 2007-2009, esta aplicación coincide con La Niña de 2008-2009 con efectos negativos sobre la absorción de Ca principalmente por la competencia con K en un suelo con baja CICE y muy ácido (pH entre 3.88 y 4.50), la baja radiación solar en este periodo también favorece la deficiencia de Ca. La aplicación de cal agrícola en el 2009 (1603 g CaO palma⁻¹) fue diseñada para corregir los desbalances, pero representa solamente ~415 kg de cal agrícola por hectárea, lo que es insignificante en relación con el muy bajo pH del lote. La lentitud de la reacción química con CaCO₃ es un otro factor para tener en cuenta. Según nuestra hipótesis, todas las condiciones para una incidencia acelerada de la PC estaban presentes en este lote en 2009.

Fuente: Datos de plantación Las Brisas 2000-2009.

Monterrey en Puerto Wilches –Magdalena Medio– en lotes sembrados con la tenera ‘IRHO’ y en los Llanos Orientales de Colombia en La Cabaña (también sembrada con IRHO) y Unipalma –lote sembrado con el tenera ‘Unilever’. Las investigaciones fueron conducidas bajo los auspicios de Cenipalma.

Para cada condición de PC (presencia o ausencia de síntomas) y en cada plantación, se tomaron muestras para análisis foliares completos (Laboratorio de Cenipalma) de los tejidos de los cogollos, las flechas, las hojas No. 1, 3 y 17. Además se tomó suelo para cada condición de PC tanto en las calles de residuos (palera), en los platos y en las calles de cosecha a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm). La incidencia acumulada de PC en cada zona experimental en el momento de tomar las muestras en el primer semestre del 2008 fue la siguiente: Unipalma 15%, La Cabaña 65%, Monterrey 4% y Bucarelia 19%.

Los 5 tejidos en 15 palmas en ambos estados de la PC fueron cuantificados por el contenido de peso seco de N, P, K, Ca, Mg, Cl, B, S, Fe, Cu, Mn, Zn además de Si. Los suelos de las zonas sin y con PC fueron cuantificados para pH, Al intercambiable, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico (CIC), las bases intercambiables (Na, K, Ca, Mg y Al), más los valores de P y Si extraíbles. Los análisis de los suelos (determinado en 12 muestras compuestas por cada plantación, de 3 localidades, 2 estados de PC y 2 estratos del perfil) demostraron que las condiciones edáficas eran típicas de muchas otras tierras palmeras en Colombia con suelos meteorizados y ácidos, altos en Al y muy bajos en bases y de pH superficial entre 4.5 y 3.9. Los niveles de K intercambiable a nivel superficial (0-15 cm) era muy alto en la zona del plato con valores encima de 0.80 cmol_c kg⁻¹ como promedio de las cuatro plantaciones. Estos datos están muy por encima del nivel crítico de entre 0.20 y 0.30 cmol_c kg⁻¹ internacionalmente establecido (Fairhurst y Härdter, 2003), lo que indica que niveles muy altos de K fueron aplicados anteriormente y especialmente en la zona del plato. En relación con las áreas en cada lote con PC y sin PC los datos edáficos no demostraron diferencias muy contundentes y consistentes. El uso de muestras edáficas para análisis que consisten en mezclas de sub-muestras probablemente no permitieron la evaluación de la micro-variabilidad espacial existente, especialmente en los parámetros muy inter-dinámicos como el pH y los niveles de Al³⁺ intercambiable en suelos tan ácidos (pH <4.4) y químicamente muy frágiles (con muy bajo CICE de <6-7 cmol_c kg⁻¹).

En los datos analizados para los cinco tejidos, los valores de N, P, K, Mg, Cl, B, S, Fe, Cu, Mn, Zn y Si no mostraron diferencias consistentes entre las muestras tomadas de palmas con y sin PC en cada plantación. Sin embargo, los datos de Ca y Mg para los tejidos en las tres de las cuatro plantaciones (La Cabaña, Bucarelia y

Tabla 5. Análisis foliar de la hoja No. 1 y 17 en agro-ecosistemas con palmas en lotes sin síntomas de PC y palmas con los primeros síntomas de PC en materiales tenera.

Nutrientes	----- K -----			----- Ca -----			----- Mg -----		
	----- % -----								
Edad de las hojas	H1	H17	H17/H1	H1	H17	H17/H1	H1	H17	H17/H1
Palmas sin síntomas de PC									
Sur de Cesar, Col. ¹	1.38	0.80	0.58	0.40	0.65	1.32	0.27	0.21	0.78
Casanare, Col. ¹	2.15	0.97	0.45	0.40	0.74	1.68	0.27	0.21	0.78
DAMI, NBPO Ltda, PNG ²	1.18	0.94	0.80	0.60	0.91	1.38	0.25	0.20	0.80
Bucarelia, P. Wilches, Col. ³	1.98	1.10	0.55	0.43	0.54	0.94	0.25	0.21	0.84
Monterrey, P. Wilches, Col. ³	2.32	1.02	0.44	0.42	0.53	1.26	0.27	0.17	0.62
La Cabaña, Meta, Col. ³	1.56	0.92	0.58	0.57	0.76	1.33	0.30	0.25	0.83
Unipalma, Meta, Col. ³	1.91	1.04	0.54	0.28	0.63	2.25	0.21	0.20	0.95
Promedio sin PC	1.78	0.97	0.56	0.44	0.68	1.45	0.26	0.21	0.80
Palmas con los primeros síntomas de PC									
Las Brisas, P. Wilches, Col. ⁴	2.07	1.30	0.65	0.22	0.45	2.05	0.20	0.20	1.00
Bucarelia, P. Wilches, Col. ³	2.01	1.03	0.44	0.30	0.69	2.30	0.17	0.23	1.35
Monterrey, P. Wilches, Col. ³	2.32	1.03	0.44	0.26	0.53	2.03	0.17	0.17	1.00
La Cabaña, Meta, Col. ³	1.66	0.97	0.58	0.41	0.74	1.80	0.23	0.27	1.17
Unipalma, Meta, Col. ³	1.90	0.98	0.51	0.28	0.63	2.25	0.21	0.23	1.09
Promedio con PC	1.99	1.06	0.52	0.29	0.61	2.09	0.20	0.22	1.12

Fuente: ¹Munévar et al. (2005); ²Webb et al. (2009); ³Romero (2009) y ⁴Datos de Las Brisas (2009).

Monterrey, todas sembradas con la tenera IRHO; los datos de Unipalma fueron excluidos en este último análisis por razón de las grandes diferencias genéticas entre materiales en cuanto a la susceptibilidad a PC demostrada anteriormente) en la **Figura 8** (recuadros a, b y c) se manifiestan diferencias muy consistentes tanto en flechas como hojas No. 1, con niveles más altos de Ca y Mg en las palmas sin PC. La competencia entre K y Ca es muy clara en la **Figura 8** (recuadro d). Los datos de la hoja No. 1 demostraron que el valor de Ca% <~0.40% MS estaba asociado a la presencia de la PC y los valores >~0.40% con tendencia a palmas sanas. En particular las dos plantaciones de Puerto Wilches tuvieron valores de Ca en la hoja No. 1 de <0.30% con PC en 2008 y estos datos coinciden con los reportados en **Tabla 5** en 2009 en el vecino Las Brisas de 0.22% en una palma del Lote L5 con los primeros síntomas de la PC en 2009.

El punto de dato que representa un estímulo para investigar más a fondo es el de Unipalma en las 15 palmas sin la PC en la tenera “Unilever” en la **Tabla 5** con Ca% de 0.28 en la hoja No. 1. Posiblemente este lote –lote 20B con 15% de PC en el primer semestre de 2008– empezaba apenas a mostrar síntomas de PC en

más palmas después del día de las muestras en el trabajo de Romero (2009) en el primer semestre del 2008. De todas maneras, más monitoreos –según el modelo surgido en las recomendaciones al final de este artículo– son esenciales para hacer más pruebas sobre la importancia de Ca% en los tejidos jóvenes. Obviamente, es demasiado temprano para tratar de establecer un nivel crítico de Ca% foliar en la hoja No. 1 para detectar la susceptibilidad a la PC. Es posible, como en el caso del tomate con Pudrición de la Fruta (Blossom End Rot, ver Taylor y Locascio, 2004), que un nivel crítico y constante de Ca per se no es un objetivo muy práctico, porque no es posible considerar Ca en aislamiento de los demás nutrientes, el clima y la genética de los materiales sembrados. Las interacciones entre nutrientes son determinantes en los múltiples desordenes fisiológicos relacionados con Ca en una larga lista de especies (Bangreth, 1979).

Rol del calcio: evidencia edafo-espacial

Cristancho et al. (2007) y Rojas (2005) han reportado un estudio sobre un monitoreo realizado durante cinco años (1999-2004), relacionando las características químicas y físicas de cinco subórdenes de inceptisoles –representando la variación edáfica a través de una

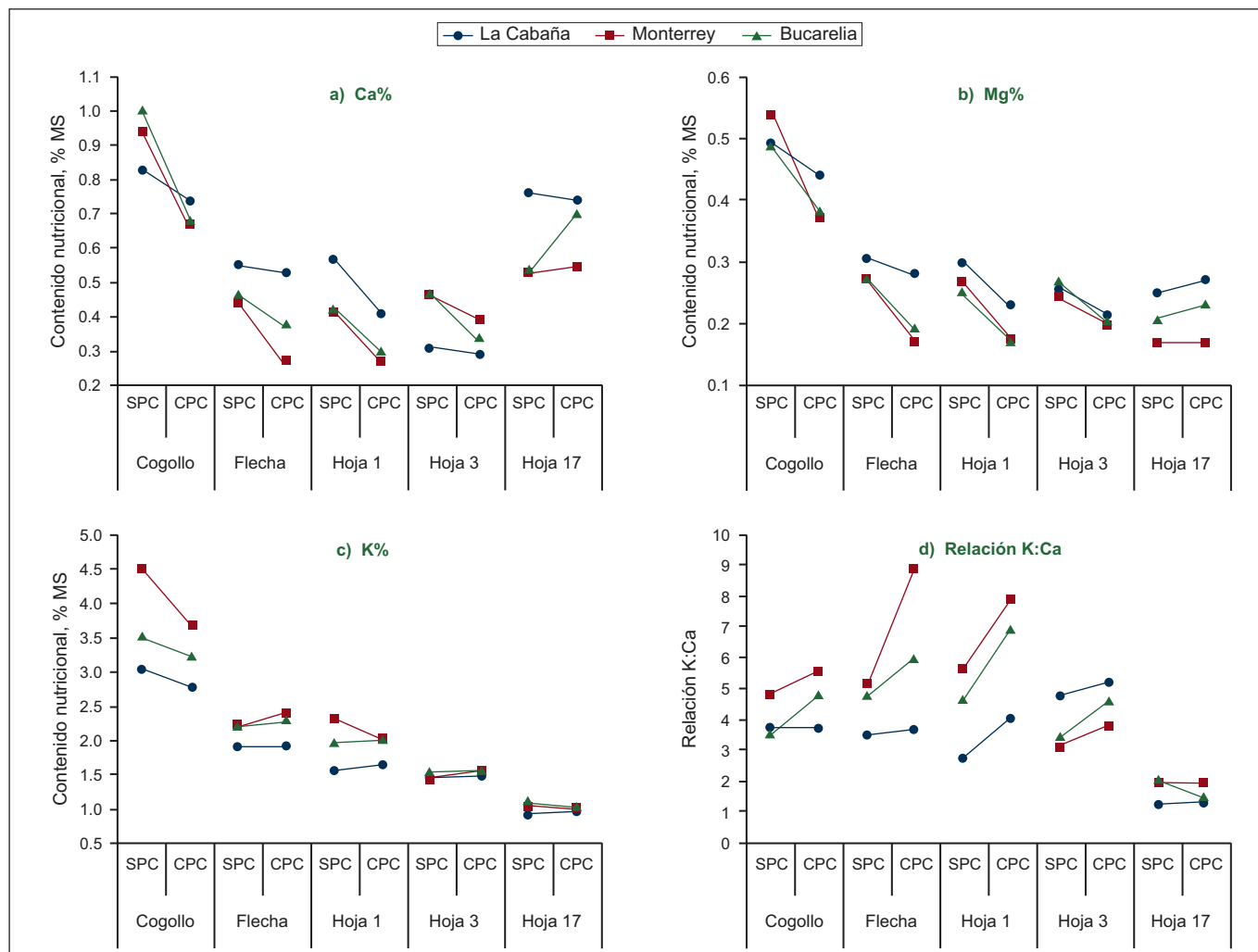


Figura 8. Contenido nutricional de Ca (a), Mg (b), K(c) y relación K:Ca (d), determinado en muestras de cinco tejidos en quince palmas sin síntomas de PC (SPC) y quince palmas con los primeros síntomas de PC (CPC) identificadas en lotes específicos en tres plantaciones de Colombia.

Interpretación: En las tres plantaciones el contenido de Ca y Mg fue consistentemente más alto en los tejidos más jóvenes (especialmente cogollo, flecha y hoja No.1 y 3) de palmas sin PC que en los tejidos jóvenes de palmas con PC. El Ca es afectado por la elevada niveles de K, lo que se manifiesta en la muy alta relación K:Ca (d) observada en palmas con PC, la relación K:Mg (datos no mostrados) tuvo respuesta similar. El K, que es sumamente móvil en el floema y que fue suministrado generosamente (según los análisis de los suelos superficiales de los platos), no mostró las mismas tendencias del Ca y Mg entre plantas sin PC y con PC a excepción del cogollo (c). Dado el rol estructural del Ca, su conocido rol en la susceptibilidad a la invasión de patógenos, y la incapacidad de removilizar Ca desde otros tejidos, la deficiencia de este elemento es en nuestra opinión, es la principal causa que da origen a la PC. Estas tendencias son muy evidentes en los tejidos más jóvenes, pero no son detectables en la hoja No. 17. Parece muy claro que el dato obtenido en la hoja No. 17 no tiene valor para el monitoreo de estas interacciones nutricionales en relación con la incidencia de la PC.

Fuente: Datos re-elaborados por el autor de la tesis de Alicia Romero (2009).

toposecuencia típica de los Llanos Orientales de Colombia– y la incidencia espacial y temporal de los síntomas de la PC en palmas individuales –identificadas con GPS– durante y después el evento de La Niña de 1999-2002. Los estudios en la plantación Araguatos, San Carlos de Guaroa, Meta Colombia, fueron conducidos bajo el auspicio de Cenipalma. El autor de esta hipótesis ha reanalizado los datos para expresar la disponibilidad de los cationes (Ca, Mg, Al y K) en el CICE con base en los valores intercambiables ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$). En estos suelos caolíntricos meteorizados con extrema acidez con muy baja actividad iónica ($\text{CICE} < 4 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$) los valores

actuales son más representativos que el % de saturación catiónico en la CICE (Fenton y Conyers, 2002).

Los resultados del re-análisis de los datos de Romero (2005) son presentados en la **Tabla 6** y se encuentran ampliados en la presentación disponible en el sitio web del autor. Las altas correlaciones entre Ca y Mg con la incidencia acumulada de PC en cada suelo son muy significativas y presentan una relación lineal (Prob. < 1%; con más del 95% de la variación en PC explicada por los promedios de cationes Ca y Mg en los cinco suelos). Ambos parámetros son muy precisos: (a) los valores acumulados y absolutos del censo individual de

Tabla 6. Correlaciones¹ entre la incidencia acumulada de PC con los promedios de parámetros edáficos en una toposecuencia de cinco subórdenes de Inceptisoles. Plantación Araguatos, Meta, Colombia: 1999–2004.

Identificación del suelo ²	2	1	3	5	4	R ²
Área de cada suelo, ha	11.5	42.8	21.5	11.6	24.0	-
Número de muestras	8	33	8	12	38	-
PC acumulado en Dic 2004, %	17.1	20.9	24.2	30.1	32.4	-
Ca, cmol _c kg ⁻¹	1.36	1.30	1.05	0.83	0.80	-0.96 **
Mg, cmol _c kg ⁻¹	0.65	0.61	0.54	0.40	0.28	-0.95 **
Relación Ca:K	2.15	2.17	1.91	1.59	1.21	-0.90 **
Relación Ca:Al	1.34	1.38	1.36	0.58	0.55	-0.81 *
Relación Mg:K	1.03	1.01	0.94	0.76	0.42	0.79 ns
Relación Mg:Al	0.64	0.65	0.70	0.28	0.19	0.77 ns
Al, cmol _c kg ⁻¹	1.01	0.94	0.77	1.42	1.45	0.57 ns
Relación Ca:Mg	2.09	2.13	1.94	2.07	2.85	0.36 ns
K, cmol _c kg ⁻¹	0.63	0.60	0.55	0.52	0.66	0.01 ns

¹ Correlación (R², ** p<0.01, * p<0.10, ns p>0.10) entre la PC% acumulada y cada uno de los parámetros edáficos indicados.
² Según la identificación de Rojas (2005).
Fuente: Datos de Rojas (2005) re-analizados por el autor.

las palmas para la PC y (b) los parámetros edáficos que consisten en promedios de entre 8 y 38 sitios analizados por cada suelo. Los resultados son contundentes y dan soporte a las conclusiones anteriormente mencionadas, es decir, que la causa de la PC es abiótica en origen con influencia de factores edáficos como la disponibilidad de Ca, la competencia entre Ca y K en suelos químicamente débiles, y los altos niveles de Al que deprime la absorción de Ca. Como fue el caso en el estudio de Romero (2009), los valores muy altos de K intercambiable promedio (>0.50 cmol_c kg⁻¹ para los 5 suelos) indican que los tres lotes investigados han recibido altas aplicaciones de fertilizantes de K al plato durante la historia agronómica de la plantación. La relación Ca:PC y Mg:PC están de acuerdo con las interpretaciones del re-análisis de los datos de Romero (2009) en **Figura 8**. Las conclusiones de Laranjiera et al. (1998) en Pará Brasil, previamente mencionadas, tienen un fuerte eco en los datos de Rojas en la **Tabla 6**.

Puntos finales

Los lineamientos fisiológicos y las evidencias presentadas en soporte de la hipótesis abiótica son un apoyo importante para poder llegar a un consenso más profundo y amplio entre los palmeros del mundo, en todos los niveles de la industria, sobre el rol fundamental de la deficiencia transitoria de Ca como la causa primordial de la PC.

El autor considera que las evidencias presentadas son contundentes, especialmente si se considera el espectro

completo de los factores condicionantes y el rol del Ca como el factor de integración de los efectos de estos y sus interacciones. El rol condicionante de los factores genéticos, climáticos, edáficos, nutricionales y agronómicos es demostrado con claridad, especialmente en el caso de la extrema incidencia de la PC en el Municipio de Puerto Wilches en Colombia en el periodo 2008-2011, durante los dos episodios de La Niña. Es importante notar en este último sentido que el Municipio de Tumaco en la región Pacífico sur de Colombia, con la radiación solar promedio más baja (IDEAM, 2005) entre todas las zonas de producción palmera en el país, ha sufrido las incidencias más serias de la PC, especialmente desde 2004⁵. Es importante enfatizar que las serias incidencias de la PC pueden ocurrir durante períodos cuando las condiciones climáticas típicas de La Niña no son prevalentes, pero las probabilidades son más altas durante las fases frías intensas de ENOS en el Océano Pacífico con radiación solar reducida.

El nivel muy bajo de Ca foliar en la hoja No. 1 en palmas con síntomas de PC en los limitados estudios disponibles (**Tabla 5**) es un indicio de que esta hoja joven es el mejor indicador del estatus limitante de Ca (y los inmóviles menores B, Fe, Mn y Si). El autor recomienda que la industria tome nota de estas observaciones e inicie un monitoreo de la hoja No. 1 en forma rutinaria por lo menos para Ca y también para las más importantes bases competidoras (K y Mg) como indicadores tempranos de las futuras incidencias de la PC, especialmente durante los períodos extendidos de

⁵ Ver informe en: <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Foros/Introduccion.pdf>

baja radiación solar y en suelos meteorizados y muy ácidos (típicamente estratos superficiales con CICE $<\sim 6$ $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, pH $<\sim 4.6$ y Al $>\sim 2$ $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).

Las razones principales para argumentar en favor de la hipótesis abiótica son las siguientes:

- El uso de la hoja No. 17 en el análisis foliar para Ca% es la más común de las razones que tiene el autor para argumentar en contra de los desacuerdos en relación con esta hipótesis. Las **Figuras 7 y 8** (basadas en los resultados de Romero, 2009) son contundentes.
- El uso del parámetro de saturación (%) de la CICE para bases competidoras (K, Ca y Mg) en suelos meteorizados con muy baja CICE ($<\sim 6$ $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) es casi siempre la parte vertebral de los argumentos en contra de esta hipótesis. Los valores relativamente altos de % de saturación de Ca en suelos con muy poco Ca ($<1-2$ $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) no pueden considerarse argumentos válidos en contra de la hipótesis del autor. Por ejemplo, Peña et al. (2009), en un estudio de la variabilidad espacial edáfica en una topo-secuencia de Inceptisoles en el piedemonte llanero colombiano, han demostrado la gran ventaja de parámetros directos (incluyendo los cationes intercambiables en $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) en contraste con la muy baja precisión espacial de los parámetros calculados –como son el porcentaje de saturación de K, Ca, Mg y Al en la CICE–.
- La competencia nutricional de Mg contra Ca (como en el caso de la zona de Quepos en Costa Rica) no se ha tomado en cuenta suficientemente entre los argumentos encontrados contra esta hipótesis en agro-ecosistemas con suelos relativamente muy altos en Mg. Las investigaciones de Ramírez (2008) de ASD-Palmática de Costa Rica en los inceptisoles son muy útiles para enfatizar la importancia de las interacciones edáficas y fisiológicas entre Ca y Mg en la nutrición y productividad de la palma de aceite en esta zona, en suelos del litoral pacífico de origen marino. En este último análisis, los rendimientos de racimos ha^{-1} están directamente relacionados con las proporciones de Ca y Mg en la CICE, con altos porcentajes de Mg asociados con bajos rendimientos y viceversa en lotes donde Ca fue dominante. Es claro que la mayoría de incidencias de la PC ocurre en suelos altos en Al intercambiable, pero hay zonas donde la saturación de Al es relativamente bajo en sitios –típicamente en la zona de Quepos en Costa Rica y probablemente en Tumaco en Colombia– pero en estas condiciones la competencia entre los cationes, especialmente de K y Mg contra Ca, pueden causar deficiencias transitorias de Ca en las flechas inmaduras especialmente durante periodos continuos y fuertemente nublados.

- La demora en la aparición de los primeros síntomas en palmas con bajo Ca en las flechas y la hoja No. 1 (muy provisionalmente $<\sim 0.40\%$ en la hoja No. 1) es esperado en algunas situaciones donde la tasa de la incidencias/mes se presenta tan pronto comienza la fase exponencial. El monitoreo visual de las palmas por 5-6 meses después de la fecha de muestreo foliar es esencial (ver las siguientes recomendaciones).
- Como un complemento a las cuatro observaciones previas, el autor tiene reservas con las recomendaciones de Guest y Drenth (2010) sobre las palmas sobrevivientes que crecen saludablemente en la mitad de las zonas conocidas como “focos de infección” donde hubo serias incidencias de la PC, incluso después de más de 12 meses desde la incidencia inicial. Los dos patólogos australianos recomendaron que las palmas sobrevivientes fueran identificadas como palmas resistentes a la “enfermedad”, y propusieron que la conservación de este germoplasma sería un importante recurso para el futuro mejoramiento genético de la palma. La validez de estas recomendaciones son muy fáciles de probar utilizando marcadores moleculares modernos considerados muy eficientes para el uso en el género *Elaeis* (Billotte et al., 2006; Satisch y Mohankumar, 2007). Boari (2008) también mencionó el posible futuro potencial genético de las sobrevivientes, pero con énfasis en la aplicación de marcadores genéticos.

Según la información disponible, los resultados relacionados con el uso de marcadores en las palmas sobrevivientes, como posibles genotipos distintos de las demás en el mismo lote, no están publicados todavía por los investigadores pertinentes en América. La clarificación de la genética de las sobrevivientes es un paso muy importante en la solución de esta paradoja de la PC. La gran mayoría de la industria palmera a nivel mundial ha considerado la PC como una enfermedad clásica durante 83 años, y esta visión es aparentemente muy difícil de negar a pesar de las evidencias extensas y contundentes reportadas en este documento en apoyo de la hipótesis abiótica. La falta de progreso efectivo en el campo en el “control” de la PC, como consecuencia de las investigaciones bióticas dominantes desde 1928 es obvia, especialmente en Colombia y Ecuador durante los últimos tres años.

Recomendaciones

El autor propone las siguientes recomendaciones específicas para avanzar en el escenario de la PC, por lo menos en América:

- Desarrollar investigaciones para ampliar y reconfirmar las evidencias presentadas en este documento y de esta manera permitir avances en la búsqueda de soluciones abióticas y definitivas para la PC en el campo.

- Repetir el monitoreo reportado por Romero (2009) en palmas individuales con síntomas y sin síntomas, preferiblemente usando las hojas No. 1 y 17 solamente y con muestras de suelo superficial (0-25 cm) del plato, la calle de cosecha y la palera para la determinación de los parámetros edáficos críticos en cada sitio (al menos pH, CIC, MO, Ca, Mg, K, Na y Al y textura). Estudios de esta índole deben de tener un seguimiento y monitoreo de las palmas muestreadas –marcadas y ubicadas con GPS– por lo menos cada mes durante los 6 meses siguientes a las primeras muestras foliares. Esta precaución es necesaria para confirmar que estas palmas están libres de síntomas de la PC durante este periodo o apenas están mostrando síntomas. Es necesario el estricto control de la estandarización de los protocolos y de la calidad de los datos, no solamente para permitir más pruebas sobre la relación fisiológica entre Ca foliar y la PC, sino también para dar la posibilidad de establecer niveles críticos en diferentes grupos de materiales genéticos y en agro-ecosistemas contrastantes.
- El pH es uno de los parámetros más útiles, especialmente en suelos muy ácidos donde la curva de la concentración de Al^{3+} en la solución del suelo con relación al pH es exponencial en condiciones de $pH < 4.6$. Dada la importancia del nivel de acidez y Al en esta hipótesis, se considera necesario hacer un monitoreo espacial representativo y rutinario del pH – en los platos, la palera y la calle de la cosecha– a nivel de todas las parcelas de las plantaciones. La determinación del pH es muy sencilla y es muy fácil de realizar en las plantaciones (con el apoyo de GPS para la localización de los datos). Implícita en esta recomendación está la necesidad de un monitoreo de los procesos de acidificación edáfica en plena marcha en todos los agro-ecosistemas palmeros mundiales, especialmente en aquellos donde se utilizan fertilizantes muy acidificantes –especialmente sulfato y cloruro de amonio–, y donde las aplicaciones de enmiendas de Ca son sub óptimas, y donde las aplicaciones súper-óptimas de K soluble son comunes en la búsqueda de altos rendimientos en suelos químicamente débiles (por ejemplo, con CICE $< 6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$).
- El análisis en este documento de los factores causantes de la PC es limitado en cierto modo por la falta de libre acceso a datos de calidad de más plantaciones. El autor está muy agradecido con los directivos y agrónomos de las plantaciones que le han suministrado los datos mencionados. Un ambiente de libre intercambio de información puede ser mutuamente beneficioso para toda la industria, a pesar de la tendencia de reserva generalizada que prevalece.
- Finalmente, el autor hace una recomendación en general para que la industria palmera, especialmente

en las Américas, tenga una visión más amplia sobre este trastorno abiótico que parece ser, con base en estos argumentos y evidencias, un desorden nutricional en primera instancia.

El autor quiere invitar a los interesados en la problemática de la PC a realizar una evaluación del sitio web: <http://lapalmadeceite.wikispaces.com> donde se presenta un espectro más amplio de información, incluyendo copias o enlaces de los trabajos completos de otros investigadores que fueron fundamentales durante el desarrollo de esta hipótesis.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer a todos los dirigentes y agrónomos palmeros y a los científicos consultados en varias instituciones quienes han brindado un gran apoyo de varias formas durante este proceso de investigación privado conducido por el autor durante los últimos ocho años. La presentación de esta hipótesis en el sitio web del autor contiene un amplio relato de estos agradecimientos. Para los que prefirieron mantener su anonimato el autor quiere expresar su gratitud. Igualmente quiere agradecer a los profesores Diego Roldan, Oscar Calvo y Carlos H. Ortiz por sus trabajos editoriales de la lengua castellana durante las diferentes fases en la preparación de este artículo. Cualquier error remanente es total responsabilidad del autor.

Bibliografía*

- Acosta, A., y F.A. Munévar. 2003. Efecto de drenaje sobre el desarrollo de síntomas de PC. *Better Crops International* Vol. 17, No. 2.
- Albertazzi, H., J. Bulgarelli, y C. Chinchilla. 2005. Onset of spear rot symptoms in oil palm and prior (and contemporary) events. *ASD Oil Palm Papers*, 28:21-41.
- Alvarado, A., C. Chinchilla, J. Bulgarelli, y F. Sterling. 1996. Agronomic factors associated with common spear rot in oil palm. *ASD Oil Palm Papers*, 15:8-28.
- Anuar, A., y K.J. Goh. 2008. Spatial variability of soil inorganic N in a mature oil palm plantation in Sabah, Malaysia. *American Journal of Applied Science* 5(7):1376-1383.
- Bangerth F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual Review of Phytopathology* 17:97-122.
- Billotte, N. et al. 2006. Development and characterization of oil palm microsatellite markers. *Proc. Int. Symposium on Oil Palm Genetic Resources*. Kuala Lumpur, Malaysia. MPOB, p. 480-496.
- Boari, A. de J. 2008. Estudos realizados sobre o amarelecimento fatal do dendeziero no Brasil. Documento 348. CPATU-Embrapa, Belem PA, Brasil.

* Las publicaciones indicadas con asterisco están disponibles en <http://lapalmadeceite.wikispaces.com>.

- Breure, C.J. 1994. Development of leaves in oil palm (*Elaeis guineensis*) and determination of leaf opening rate. *Experimental Agriculture* 30:467-472.*
- Breure, J., e I. Bos. 1992. Development of elite families in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Euphytica* 64.
- Broschat, T.K., y M.L. Elliott. 2005. A Key to Common Landscape Palm Disorders and Diseases in the Continental United States. *Palms*. 49(3):143-148. <http://flrec.ifas.ufl.edu/KeyToPalmDisordersAndDiseases.pdf>
- Chang, Y.C., J.P. Albano, y W.B. Miller. 2008. Oriental hybrid lily cultivars vary in susceptibility to upper leaf necrosis. *Proc XXVII IHC-S5 Ornamentals*. Editor-in-Chief: R.A. Criley
- Chang, Y.C., K. Grace-Martin, y W.B. Miller. 2004. Efficacy of exogenous calcium applications for reducing upper leaf necrosis in *Lilium*. *HortScience* 39(2):272-275.
- Chang, Y.C., y W.B. Miller. 2004. The relationship between leaf enclosure and upper leaf necrosis in *Lilium*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci* 129(1):128-133.
- Cherdchai P., A. Rodriguez, I. Sanders & P. Jeffries. 2009. The role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135:187-193.
- Chinchilla, C. 2008. Las muchas caras de las pudriciones del cogollo y flecha en la palma aceitera y la importancia de un enfoque integral para su manejo. *ASD Palm Papers* 32:1-25.
- Corner, E.J.H. 1966. *The Natural History of Palms*. Weidenfeld & Nicolson, London.
- Cristancho, J.A., C.A. Castilla, M. Rojas, F. Munévar, y J.H. Silva. 2007. Relación entre la saturación de Al, Mg, K y la tasa de crecimiento en la pudrición de cogollo de la palma de aceite en la Zona Oriental colombiana. *Revista Palmas* 28 No. 2.
- Cristancho, J.A., M.M. Hanafi, S.R. Syed Omar, e Y.M. Rafii. 2010a. Chemical characteristics of representative high aluminium saturated soil as affected by addition of soil amendments in a closed incubation system. *Malaysian Journal of Soil Science* 13:13-28.
- Cristancho, J.A., M.M. Hanafi, S.R. Syed Omar, y M.Y. Rafii. 2010b. Variations in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) progeny response to high aluminium concentrations in solution culture. *Plant Biology* 2010.
- Cristancho, R.J.A., N.A. Rincon, G.E.M. Garzón, y L.A. Santacruz. 2011. Leaf nutrient content differences between interspecific (O×G) and tenera (D×P) oil palm hybrids at the nursery and immature stages of growth. Paper for Conferencia Internacional PIPOC de MPOB, Malaysia: November 2011.
- De Franqueville, H. 2001. Oil palm bud rot in Latin America: preliminary review of established facts and achievements. CIRAD/BUROTROP, France. 33 p.
- De Lorenzo, G., R. D'Ovidio, y F. Cervone. 2001. The role of polygalacturonase-inhibiting proteins (Pgips) in defense against pathogenic fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 39:313-335. <http://annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.phyto.39.1.313>
- Delvaux, B., y G. Rufuikiri. 2003. Ion absorption and proton extrusion by banana roots. En sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. *Memorias de un Simposio Internacional*, San José, Costa Rica, 3-5. INIBAP. Nov. 2003.
- Duff, A. 1963. The bud rot little leaf disease of the oil palm. *Journal of West African Institute for Oil Palm Research* 4(14):176-190.*
- Fairhurst, T. 1996. Management of nutrients for efficient use in smallholder oil palm plantations. PhD, Department of Biological Sciences, Wye College, London. 211pp.
- Fairhurst, T., y R. Härdter. 2003. Oil palm: Management for large and sustainable yields. PPI & PPIC, East and Southeast Asia Programs. Singapore. pp 382.
- Fairhurst, T., J.P. Caliman, R. Härdter, y C. Witt. 2005. Oil Palm: Nutrient Disorders and Nutrient Management. PPI/PPIC-IPI. Singapore.
- Fedepalma-Cenipalma. 2009. Plan Nacional de Manejo de la Pudrición del Cogollo. Bogotá Colombia. www.fedepalma.org/document/2009/plan_manejo_PC.pdf
- Fenton, G., M. Conyers. 2002. Interpreting soils tests for Ca y Mg. Acid Soils Action Program No.7. NSW Dept Agriculture, Wagga Wagga, NSW Australia. http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0/005/166415/ca-mg-test-ratios.pdf
- Flood, J. 2006. A Review of Fusarium Wilt of Oil Palm Caused by *Fusarium oxysporum*. Symposium on Fusarium-Induced Diseases of Tropical Perennial Crops. *Phytopathology* 96:660-662.
- Fundación Konrad Adenauer. 2008. Expansión de la Palma en Colombia. KAS Papers No. 2, noviembre 2008. http://www.kas.de/wf/doc/kas_15037-1522-4-30.pdf
- Grogan, R.G. 1981. The science and art of plant-disease diagnosis. *Annual Review of Phytopathology* 19:333-351.
- Guest, D., y A. Drenth. 2010. Informe sobre la visita a las zonas de producción palmera colombiana. Ver sitio web de Cenipalma: http://www.cenipalma.org/es/guest_drent_conclusiones_pc
- Hanger, B.C. 1979. The movement of calcium in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 10:171-193.

- Hepler, P.K. 2005. Calcium: A central regulator of plant growth and development. *The Plant Cell* 17:2142-2155. <http://www.plantcell.org/cgi/content/full/17/8/2142>
- Herron, S.R., A.E. Jacques, J.A. Benen, R.D. Scavetta, J. Visser, y F. Frances. 2000. Structure and function of pectic enzymes: virulence factors of plant pathogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97(16):8762-8769.
- IDEAM. 2005. Atlas de Radiación Solar de Colombia. IDEAM, Ministerio de Medio Ambiente, Bogotá. http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/0-Primera_Parte.pdf
- International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2011. Deficiency Symptoms in Oil Palm. Southeast Asia Program. Online. <http://www.arabis.org/WhitePapers/OilPalm-NutrientDefSymptoms.pdf>
- Jim, C.Y. 1998. Physical and chemical properties of a Hong Kong roadside soil in relation to urban tree growth. *Urban Ecosystems* 2:171-181.
- Jourdan, C. et al. 2000. Root system architecture and gravitropism in the oil palm. *Annals of Botany* 85:861-868.
- Jourdan, C., y H. Rey. 1997. Architecture and development of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. *Plant and Soil* 189:33-38.
- Kallarackal, J., y S.J. George. 2004. Water use of irrigated oil palm at three different locations in peninsular India. *Journal of Oil Palm Research* 16(1):45-53.
- Kee, K.K., K.J. Goh, y P.S. Chew. 1995. Effects of N and K fertilizer on soil pH and exchangeable K status on acid soils in an oil palm ecosystem in Malaysia. In: *Plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management*. R.A. Date Editor: Springer.
- Kirkby, E.A. 1979. Maximizing calcium uptake by plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 10:89-113.
- Laing, D.R. 2010. La causa de la pudrición de cogollo en la palma de aceite: papel del calcio en una hipótesis abiótica-edáfica. Conferencia Magistral, Memorias XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: El Suelo como Factor de Mitigación del Cambio Climático. Santo Domingo, Provincia de Los Tsáchilas.
- Laranjeira, F.F., A. Bergamin Filho, L. Amorim, R.D. Berger, y B. Hau. 1998. Análise espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. *Fitopatologia Brasileira* 23(3):397-403.
- Lecourieux, D., R. Ranjeva, y A. Pugin. 2006. Calcium in plant defence-signalling pathways. *New Phytologist*, 171:249-269. doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01777.
- Liew, V.K., A.R. Zaharah, M.H. Musa, y H. Aminudin. 2010. Nutrient absorption by oil palm primary roots. *Journal of Oil Palm Research* 22:711-720.
- Mariau, D., H. van de Lande, J. Renard, M. Dollet, L. Rocha, R. Rios, F. Orellana, y F. Corrado. 1992. Pudriciones del cogollo en palma aceitera en América Latina. *Sintomatología: epidemiología e incidencia. Oléaginoux*, 47(11):605-618.
- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Second Edition. 889pp. Academic Press. London.
- Martínez G., N.A. Arias, G.A. Sarria, G.A. Torres, F. Varón, C. Noreña, S. Salcedo, H. Aya, J.G. Ariza, R. Aldana, L.C. Martínez, Ó. Moya, y C.A. Burgos. 2009. Manejo integral de la pudrición de cogollo (PC) de la palma de aceite. Cartilla Técnica No. 1. Fedepalma y Cenipalma, Bogotá.
- McLaughlin B., y R. Wimmer. 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytology* 142:373-435 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1469-8137.1999.00420.x/pdf>
- Mesa, J. 2010. Cómo se ha comportado la productividad de la palma de aceite en Colombia?: en Retos y Perspectivas de la Productividad en el Sector Palmero Colombiano. Memorias del XXXIX Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. Cali, 9 de Junio del 2010.
- Mezón, R.G., C.M. Chinchilla, G. Castrillo, y D. Salamanca. 1994. Biología y hábitos de *Rhynchosporium palmarum* L. asociado a la palma aceitera en Costa Rica. *ASD Oil Palm Papers* 8:14-21.
- Munévar, F.A., A.G. Acosta, y P.L. Gómez. 2001. Factores edáficos asociados con la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite en Colombia. *Revista Palmas, Bogotá: Cenipalma*, 22(2):9-19.
- Munévar, F.A., A. Romero, J.A. Cristancho, y N.A. Arias. 2005. Variación de las concentraciones foliares de nutrientes según la edad fisiológica de las hojas de la palma de aceite en dos localidades de Colombia. *Palmas Vol. 26 No. 3*.
- Munévar, F.A., y A.A. Romero. 2009. Variabilidad del silicio y su relación con la ocurrencia de la pudrición del cogollo en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.): Una evaluación edáfica y foliar. XVIII Congreso Latino-americano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Munévar, F.A., y A.G. Acosta. 2002. Recomendaciones de manejo del cultivo de la palma de aceite para minimizar el impacto de la Pudrición de cogollo. En: *Ceniavances. Boletín. No. 97 (Agosto 2002)*. Bogotá: Cenipalma, p. 1-4.
- Nelson, P.N., M. Banabas, D.M. Scotter, y M.J. Webb. 2006. Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity under oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Plant & Soil* 286:109-121.
- Nelson, P.N., S.B. Berthelsen, M.J. Webb, y M. Banabas. 2010. Acidification of volcanic ash soils under oil palm in Papua New Guinea: effects of fertilizer type and placement. 19th World Congress of Soil Science:

- Soil Solutions for a Changing World. August 2010, Brisbane, Australia.
- Peña, E.A., R. Reyes, y S.A. Bastidas. 2008. Evaluación del comportamiento de la etapa juvenil de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) bajo tres tipos de cultivo de cobertura en Tumaco, Colombia. <http://www.corpoica.org.co/sitioweb/archivos/oferta/evaluaciondecomportamientodelaetapajuvenil.pdf>
- Peña, R., Y. Rubiano, A. Peña, y B. Chaves. 2009. Variabilidad espacial de los atributos de la capa arable de un inceptisol del piedemonte de la cordillera Oriental (Casanare, Colombia). *Agronomía Colombiana* 27(1):111-120.
- Ploetz, R.C. 2000. Panama disease: A classic and destructive disease of banana. Online. *Plant Health Progress* doi:10.1094/PHP-2000-1204-01-HM.
- Ramírez, F. 2008. Validación de niveles críticos de Mg en el suelo y follaje de la palma aceitera: Estudio de caso en Costa Rica. *Memorias de XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia de Suelos, Quito.**
- Rojas, M. 2005. Efecto de las condiciones edáficas sobre la dinámica del complejo pudrición de cogollo en palma de aceite adulta (*Elaeis guineensis* jacq.) en la región de San Carlos de Guaroa, Meta. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela de Ingeniería Agronómica, Tunja.
- Romero, A.A. 2009. Variabilidad del silicio y su relación con la ocurrencia de la pudrición de cogollo en la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Bogotá Colombia.
- Sapak, Z., S. Meón, y Z. Mior. 2008. Effect of Endophytic Bacteria on Growth and Suppression of Ganoderma Infection in Oil Palm. *International Journal of Agriculture and Biology*. 10(2):127-132. http://www.fspublishers.org/ijab/past-issues/IJABVOL_10_NO_2/1.pdf
- Sathish, D.K., y C. Mohankumar. 2007. RAPD markers for identifying oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) parental varieties (*dura* & *pisifera*) and the hybrid tenera. *Indian Journal of Biotechnology* 6:354-358.
- Scavetta, R. et al.1999. Structure of a plant cell wall fragment complexed to pectate lyase. *Plant Cell* 11:1081-1092. <http://www.plantcell.org/content/11/6/1081.full.pdf>
- Serrano, E. 2003. Banana soil acidification in the Caribbean coast of Costa Rica and its relationship with increased aluminium concentrations. *Memorias de un Simposio Internacional, San José, Costa Rica, 3-5. INIBAP. Nov. 2003.*
- Silva, H.M., P. Celestino Filho, D.R. Trindade, H.E.O. Conceição, A.A. Müller, y R.M. Alves. 1995. Estado atual dos conhecimentos sobre a doença amarelecimento fatal (AF) do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) no Estado do Pará. In Workshop Sobre a Cultura do Dende, 1995. Manaus. p 87-98. (Documento revisado en detalle por Boari, 2008).
- Singh, R.P., A.C. Avila, A.N. Dusi, A. Boucher, D.R. Trindade, W.G. van Slobbe, S.G. Ribeiro, M.E.R. Fonseca. 1988. Association of viroid like nucleic acids with the fatal yellowing disease of oil palm. *Fitopatologia Brasileira* 13(4):392-394.
- Sterling, F., A. Alvarado. 1996. Crown disease-common spear rot: genetic differences and effect on initial production. *ASD Technical Papers* 12:18-32.
- Tailleux, B. 1971. The root system of the oil palm in the San Alberto plantation in Colombia. *Olegineux* 7:435-447.
- Taylor, M., y S.J. Locascio. 2004. Blossom-End Rot: A Calcium Deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 27:123-139.
- Torres, G.A., G.A. Sarria, F. Varón, M.D. Coffey, M.L. Elliott, y G. Martínez. 2010. First report of Bud Rot in African oil palm Caused by *Phytophthora palmivora*. *Plant Disease* Vol.94 No.94:163.
- Turner, D.W., y F.E. Rosales. 2003. Sistema radical del banano: hacia un mejor conocimiento para su manejo productivo. *Memorias de un Simposio Internacional, San José, Costa Rica, 3-5. INIBAP. Nov. 2003.*
- Van Slobbe, W.G., y R.L. Souza. 1991. Amarillamiento fatal o pudrición de cogollo en Denpasa, Brasil. *Revista Palmas, Santafé de Bogotá, Colombia* 12 (2):17-23.
- Vlek, P. et al. 2005. The potential of oil palm and forest plantations for Carbon sequestration on degraded land in Indonesia. *Ecology and Development Series* No. 28.*
- Wardlaw, C.W. 1958. Notes on the visit to the Belgian Congo. *Illustrated Report. The United Africa Co., London (Referencia notado por Hubert De Franqueville, 2001).*
- Webb, M., S. Bethelsen, P. Nelson, y H. van Rees. 2009. Overcoming magnesium deficiency in oil palm crops on volcanic soils in Papua New Guinea. *Final Report, ACIAR Canberra, Australia.* <http://aciar.gov.au/system/files/node/10737/SMCN-2000-FinalReport>.
- Zaharah, A.R., J. Hawa y A.H. Sharifuddin. 1985. Accumulation and migration of phosphate applied as rock phosphate in an oil palm plantation. *Pertanika*, 8(3):317-321.
- Zeven, A.C. 1967. The semi-wild oil palm and its industry in Africa. *Onderzoekingen, Proefschrift Landbouwho-geschool Wageningen* pp.178.*

REPORTE DE INVESTIGACIÓN RECIENTE

AUMENTANDO LA EFICIENCIA DEL FERTILIZANTE EN BANANO BAJO IRRIGACIÓN Y FERTIGACIÓN

Junqueira, L.A., J.A. Quaggio, y E.V. Mellis. 2011. Ganhos de eficiência fertilizante em bananeira sob irrigação e fertirrigação. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal 33(1):272-278.

El aumento en el uso eficiente de fertilizantes está cada vez más relacionado con el buen manejo de los cultivos, no solamente para reducir costos de producción sino también para reducir impactos ambientales. Con el objeto de evaluar la eficiencia de dos fertilizantes nitrogenados y potásico en el cultivo de banano, se realizaron dos experimentos de campo con el cultivar 'Nanicao' (*Musa* AAA, subgrupo Cavendish), en la alta Sabana del Estado de Sao Paulo, durante cuatro siglos de producción. Esta región se caracteriza por una estación lluviosa en el verano y seca en el invierno. El primer experimento estimó la eficiencia de aplicación de varias dosis de nitrógeno (N): 0, 200, 400 y 800 kg ha⁻¹ y de potasio (K) 0, 300, 600 y 900 kg K₂O ha⁻¹, en cultivo bajo irrigación comparado con cultivo de secano. En el segundo experimento se estudió la eficiencia de la fertilización con N y K aplicada por fertigación o por medio convencional al suelo. En los dos experimentos la irrigación y la fertigación fueron hechos por microaspersión, y se emplearon como fuentes de N y K al nitrato de amonio y cloruro de potasio, respectivamente. La eficiencia de los fertilizantes se estimó mediante la relación entre la masa de los frutos producidos por unidad de nutriente aplicado. Para el promedio de las dosis empleadas en los dos ciclos de producción, se observó que la irrigación incrementa la eficiencia de fertilización en relación con el secano en aproximadamente 36 y 32%, respectivamente para N y K. La aplicación de N y K vía fertigación promovió un aumento de 36% en la eficiencia del fertilizante en relación a la fertilización sólida convencional vía suelo. Los incrementos en la eficiencia de los fertilizantes empleados por irrigación y fertigación permitirían disminuir los gastos en el uso de insumos.*

APLICACIÓN DE BORO EN BANANO

Shigueaki, E., L.A. Junqueira, R.M. Boaretto, V.A. Garcia, E.J. Fuzitani, E.R. Damatto Junior, L.A. Saes, y D. De Mattos Junior. 2011. Aplicação de boro em bananeira. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal 33(2):608-617.

La fertilización del banano con micronutrientes ha sido poco estudiada, principalmente la aplicación de boro (B) que presenta funciones relacionadas al desenvolvimiento de meristemas apicales. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la respuesta a la fertilización con B en diferentes dosis y formas de aplicación en el banano "Grande Naine". Se empleó un diseño experimental en esquema factorial con tres dosis (0.85, 1.70 y 3.4 g planta⁻¹) y tres formas de aplicación de fertilizante (suelo, foliar y en orificio en perfil expuesto). Se utilizó el ácido bórico como fuente de B más un control sin aplicación de B. Se evaluaron los efectos de los tratamientos en la disponibilidad de B en el suelo, en el desarrollo, el estado nutricional y la productividad de frutos en las bananeras. La aplicación de B en el suelo y en las hojas aumentó la disponibilidad de micronutrientes en la capa superficial del

suelo (entre 1 y 1.5 mg kg⁻¹, para la mayor dosis de nutriente y un aumento correspondiente entre 20 a 40 cm, como consecuencia de la lixiviación. La contribución del fertilizante foliar en el aumento de la concentración del suelo se explica debido al lavado por escorrentía de las hojas hacia la superficie del suelo. Así mismo, no hubo efecto del B cuando fue aplicado en orificio al perfil expuesto (~0.3 mg kg⁻¹ de B). Tampoco, observamos efectos de la aplicación de B en el desarrollo de la bananera (altura y diámetro del pseudo tallo medidos en la emisión de la inflorescencia). En los muestreos quincenales, los tenores foliares de B, aplicado en orificio del perfil expuesto, fueron mayores y se prolongaron por hasta un mes después de la aplicación en la bananera. Sin embargo, en el último muestreo foliar (emisión de inflorescencia), no hubo efecto de la forma de aplicación en los tenores foliares de B (~20 mg kg⁻¹). No se observó efectos de la fertilización en la producción de frutos en función de las dosis y formas de aplicación de boro, sin embargo la aplicación al orificio en el perfil promovió una acumulación de B en el racimo. En las condiciones de este trabajo, se concluye que la aplicación de B no influyó el desarrollo o la producción del banano "Grande Naine" en función de las dosis y formas de aplicación del micronutriente.*

ABSORCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE POTASIO EN LOS ÓRGANOS DE PALMA DE ACEITE: EL ROL DEL CLORO Y LA INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO EN EL VALLE DEL RÍO MAGDALENA, COLOMBIA

Dubos, B., W.H. Alarcón, J.E. López, y J. Ollivier. 2011. Potassium uptake and storage in oil palm organs: the role of chlorine and the influence of soil characteristics in the Magdalena valley, Colombia. Nutrient Cycling in Agroecosystems 89:219-227.

El potasio (K) es el nutriente principal para la nutrición de la palma de aceite. En las plantaciones, la fertilización potásica se ajusta usualmente de acuerdo al contenido en folíolos. Sin embargo, en el valle del río Magdalena en Colombia, donde los suelos son deficientes en cloro (Cl) el KCl siempre ha causado una caída en el contenido de K en la hoja, a veces hasta niveles de deficiencia, y sin embargo los rendimientos se mantienen altos. Para dilucidar esta paradoja, se condujo un estudio multianual en palmas de 11 años de edad comparando parcelas no fertilizadas y parcelas que recibían KCl o NaCl. Se analizó las características físico-químicas del suelo y el contenido de K, Ca, Mg, Na y Cl en diferentes órganos: folíolos, raquis, pecíolos, tallos, raíces y racimos de fruta fresca. Nuestros resultados muestran que el Cl estimuló la absorción de los cationes K, Ca y Mg en las partes aéreas y que el K se almacenó primordialmente en los tallos (72% del K en los órganos vegetativas aéreas). Nuestros resultados además muestran que los suelos son ricos en K fácilmente accesible al cultivo, un hecho que el análisis convencional de cationes intercambiables no revela, y que la riqueza sea probablemente de origen volcánico. Finalmente el análisis del contenido de K en el raquis mostró un buen potencial indicador del K absorbido por la planta y este puede por tanto reemplazar a los folíolos en el monitoreo de la fertilización potásica en plantaciones de palma de aceite.*

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. V Congreso de la Soja del Mercosur - Mercosur 2011

Organiza : Mercosoja 2011
Lugar : Rosario, Argentina
Fecha : Septiembre 14-16, 2011
Información : Mercosoja 2011
Tel: 54(341)421-3471
infomercosoja2011@acsoja.org.ar
www.mercosoja2011.com.ar/site/

2. II Simposio Nacional de Agricultura

Organiza : FAGRO - GTI Agricultura
Lugar : Paysandú, Uruguay
Fecha : Septiembre 29-30, 2011
Información : FAGRO - GTI Agricultura
Tel: (598)472-27950
eemac@fagro.edu.uy
www.eemac.edu.uy

3. VI Congreso Latinoamericano de Biología, Física y Química Ambiental

Organiza : UCSM
Lugar : Arequipa, Perú
Fecha : Octubre 11-15, 2011
Información : UCSM
Tel: 51(54)251-210 Anexo 1152
envichem@ucsm.edu.pe
www.ucsm.edu.pe/catedra

4. Reunión Anual de la Asociación Americana de Agronomía

Organiza : ASA
Lugar : San Antonio, Texas, EE.UU.
Fecha : Octubre 16-19, 2011
Información : ASA
Tel: 001(608)273-8080
www.agronomy.org/meetings

5. I Seminario - Taller de Cartografía Digital "Dando los primeros pasos"

Organiza : AACS
Lugar : Villa de Merlo, San Luis, Argentina
Fecha : Noviembre 9-11, 2011
Información : AACS
seminariotaller@fices.edu.ar
www.suelos.org.ar

6. XIX Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SVCS - INIA
Lugar : Calabozo, Venezuela
Fecha : Noviembre 21-25, 2011
Información : SVCS - INIA
Tel.: 58(246)808-3446
nalfonzo@inia.gob.ve
www.xix-cvcs-inia.gob.ve

7. XXXVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Organiza : SMCS
Lugar : Campeche, México
Fecha : Noviembre 21-25, 2011
Información : SMCS
Tel.: 01(981)811-6726
campuscampeche@colpos.mx
www.smcs.org.mx/eventos.html

8. IV Congreso Internacional sobre Banano

Organiza : Corbana
Lugar : San José, Costa Rica
Fecha : Febrero 20-24, 2012
Información : Corbana
Tel.: (506)2240-2333
congresobanano@interamericana.co.cr
www.congresointernacionaldebanano.com

9. XIX Congreso Latinoamericano - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : SLCS - AACS
Lugar : Mar del Plata, Argentina
Fecha : Abril 16-20, 2012
Información : SLCS - AACS
slcs2012@congresodesuelos.org.ar
www.congresodesuelos.org.ar

10. XIX Conferencia ISTRO y IV Reunión de la Sociedad Uruguaya de la Ciencia del Suelo

Organiza : ISTRO - SUCS
Lugar : Montevideo, Uruguay
Fecha : Septiembre 24-28, 2012
Información : ISTRO - SUCS
Istro2012@congresos-rohr.com
www.congresos-rohr.com

PUBLICACIONES DISPONIBLES

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal	
Título de la Publicación	Costo (U\$S)
Uso Eficiente de Nutrientes. Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.	15.00
Nutrición y Fertilización del Mango. Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.	15.00
Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo	15.00
Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido.	15.00
Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo.	15.00
Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura. Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo.	15.00
Manual de Nutrición y Fertilización del Café. Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos.	10.00
Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos. Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes.	10.00
Nutrición de la Caña de Azúcar. Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña.	8.00
Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes. Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes.	6.00
Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos. En esta publicación se discuten una serie de aspectos para ayudar al investigador a tomar la decisión más adecuada en cuanto a fertilización, teniendo en cuenta todos los factores que pueden afectar el cultivo en condiciones locales.	5.00
Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en http://nla.ipni.net	