Informaciones Agronómicas
de Hispanoamérica

En este número

- Cultivos de cobertura invernales
- Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera
- Respuesta de la caña de azúcar al Si en suelos de Guatemala

Archivo Agronómico # 15

Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos

IAH 21 - Marzo 2016

Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina 2

Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires. I. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos 7

Respuesta de la caña de azúcar al Si en dos suelos de la zona cañera de Guatemala 26

Cursos y Simposios 31

Publicaciones Disponibles 32

Archivo Agronómico # 15

Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos

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

International Plant Nutrition Institute (IPNI)

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.

http://www.ipni.net

Oficina para el Cono Sur de Latinoamérica • Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acassuso • Buenos Aires - Argentina
Telf/Fax.: 54 11 4798 9939 • Correo electrónico: Lpisauri@ipni.net • http://Lacs.ipni.net

Oficina para el Norte de Latinoamérica • Casilla Postal 17 17 980 • Quito - Ecuador
Telf.: 593 2 2463 175 • Fax: 593 2 2464 104 • Correo electrónico: aormaza@ipni.net • http://nla.ipni.net

Oficina para México y Centroamérica • 3500 Parkway Lane, Suite 550 • Norcross, GA 30092 - EE.UU
Telf.: 1 770 825 8079 • Fax: 1 770 448 0439 • Correo electrónico: atasistro@ipni.net • http://mca.ipni.net

Cultivos de cobertura invernales en la región pampeana argentina

Helena Rimski-Korsakov[1], Carina R. Álvarez[1] y Raúl S. Lavado[1,2]

La inclusión de cultivos de cobertura (CC) entre dos cultivos de interés económico, busca generar mejoras en el agro-sistema que contribuyan al mantenimiento o, mejor aún, al aumento de los rendimientos de los cultivos. Estas mejoras pueden tener lugar en las propiedades físico-químicas del suelo, en el control de la erosión y/o el control de las malezas, en el uso de agua, y otras. Sin embargo, hay situaciones donde el rendimiento del cultivo puede ser menor luego de un CC previo. En general, esta disminución en el rendimiento se debe a la competencia por recursos entre el CC y el cultivo siguiente, especialmente por agua y nutrientes. En general, esta disminución en el rendimiento se debe a la competencia por recursos entre el CC y el cultivo siguiente, especialmente por agua y nutrientes. Una mejora ambiental lograda por los CC, no relacionada en forma directa con cuestiones productivas, es el secuestro de carbono. Esto contribuye a disminuir el efecto invernadero que sufre el planeta.

El objetivo del presente trabajo fue analizar el impacto de los CC invernales sobre diferentes propiedades edáficas y del ambiente y, finalmente, sobre los rendimientos de los cultivos de soja y maíz. Para ello se efectuó una recopilación exhaustiva de la información existente en la región pampeana de Argentina. En cada apartado se compararon las medias de diferentes variables (materia orgánica, nitratos y agua disponible a la siembra del cultivo de interés económico y rendimientos de soja y maíz) ante la presencia o no de cultivos de cobertura. Para realizar esta comparación, se utilizó la prueba de t para muestras apareadas, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

Efectos sobre el nivel de materia orgánica del suelo

El predominio del monocultivo de soja en la región pampeana dificulta sostener los niveles de materia orgánica (MO) de los suelos. Una de las razones usualmente esgrimida para justificar este fenómeno es la menor biomasa aportada por este cultivo en relación al maíz o al doble cultivo trigo/soja. Para corroborarlo, se tuvieron en cuenta los aportes de residuos de las diferentes rotaciones utilizando los rendimientos promedio de maíz, soja y trigo en la Pampa Ondulada (Álvarez y Steinbach, 2012; MAGyP, 2015). El monocultivo de soja aporta cerca de la mitad de residuos que el maíz o la secuencia trigo/soja (Soja: 6, Maíz: 11 y Trigo/Soja: 15 t MS ha^{-1} $año^{-1}$). A la vez, la tasa de descomposición de los residuos de soja es mayor que la de las gramíneas debido a su menor relación C:N (Jensen et al., 2005). Por otro lado, Milesi Delaye et al. (2014) afirmaron que el contenido de MO del suelo en planteos de monocultivos de soja puede ser sostenido mediante el uso de CC ya que un CC puede incorporar entre 5.75 y 7.75 t MS ha^{-1} $año^{-1}$. Por lo tanto, el carbono (C) que ingresa en una secuencia CC/soja puede ser semejante a aquel de un maíz o del doble cultivo trigo/soja.

En este trabajo se consideraron experiencias locales desarrolladas por 5 años consecutivos, o más, en diferentes sitios de la región pampeana usando diferentes especies y manejos (Álvarez et al., 2008; Cosentino et al., 2008; Cazorla et al., 2010; Varela et al., 2010; Lardone et al., 2011, 2012; Brambilla et al., 2012; Alessandria et al., 2013; Rillo et al., 2013; Scianca et al., 2013; Álvarez et al., 2014; Giron et al., 2014). En la **Figura 1a** se aprecia que el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) es significativamente superior cuando se incluyen CC en los periodos entre cultivos comparados con aquellos manejos donde el suelo quedaba desnudo o incluso enmalezado durante el barbecho. La inclusión de CC durante por lo menos 5 años produce, en promedio, un incremento de 5.4 t C ha^{-1} ($p < 0.05$) en los primeros 20 cm del suelo. En la **Figura 1b** se muestran las comparaciones pareadas de cada uno de los puntos reportados y su relación con la curva 1:1. Puede apreciarse que solamente en una situación el contenido de COS se encontró por debajo de la misma. Es decir, en el 97% de los casos las situaciones con CC presentan mayor contenido de carbono orgánico que sin CC.

El incremento de la MO está directamente relacionado con la cantidad de biomasa producida por el CC, que a su vez depende de la elección de las especies utilizadas (Scianca et al., 2009; Varela et al., 2010) y del momento de secado de los mismos (Álvarez et al., 2009; Lardone et al., 2014). Si el objetivo de introducir un CC en la rotación es el de incrementar la materia orgánica del suelo deberían elegirse especies gramíneas que producen más biomasa que las leguminosas (Barraco et al., 2009; Baigorria et al., 2012; Fargioni et al., 2012). Hay que tener en cuenta, por otro lado, que los secados tardíos de los CC producen mayor cantidad de residuos (Lardone et al., 2014). Sin embargo, a pesar del efecto positivo en cuanto a la generación de biomasa, los ciclos largos de CC con barbechos cortos deben ser manejados con cuidado, debido al posible efecto negativo sobre el rendimiento del cultivo siguiente.

Efectos obre las propiedades físicas del suelo

Dentro de las propiedades físicas de los suelos, el uso de CC mostró efectos beneficiosos disminuyendo la dureza del suelo (Varela et al., 2010) y la susceptibilidad

1 Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)
2 Instituto de Investigaciones en Biociencias Agrícolas y Ambientales (INBA/CONICET/FAUBA). Av. San Martín 4453 C1417DSE Buenos Aires, Argentina
* Autor de contacto. Correo electrónico: rimski@agro.uba.ar

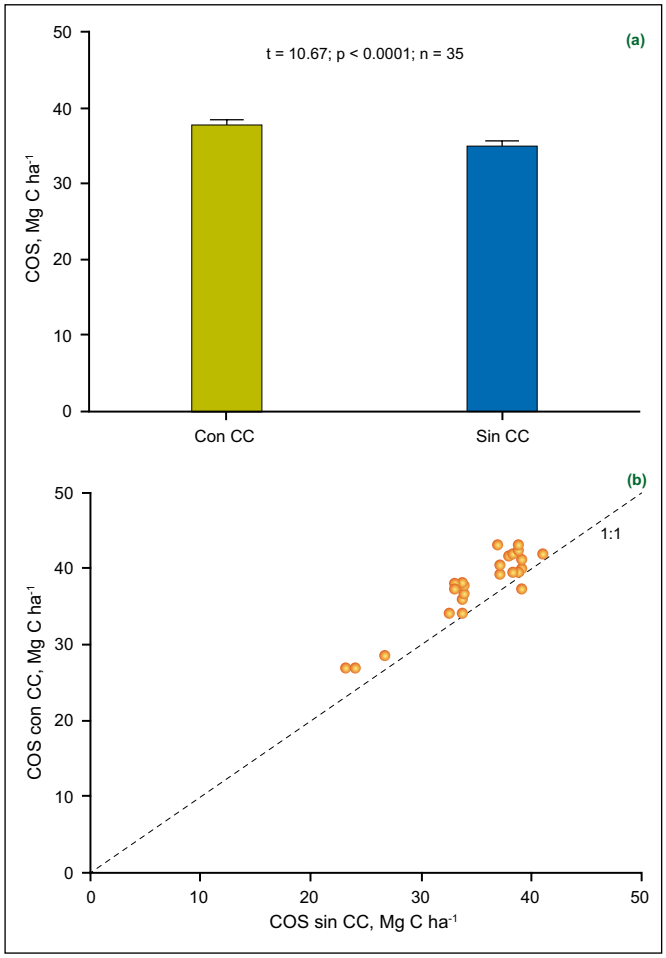


Figura 1. (a) Relación entre el carbono orgánico del suelo (COS) (0-20 cm) con y sin cultivos de cobertura (CC) por 5 años o más. (b) Comparaciones apareadas del COS (0-20 cm) con y sin cultivos de cobertura (CC). La línea punteada indica la relación 1:1.

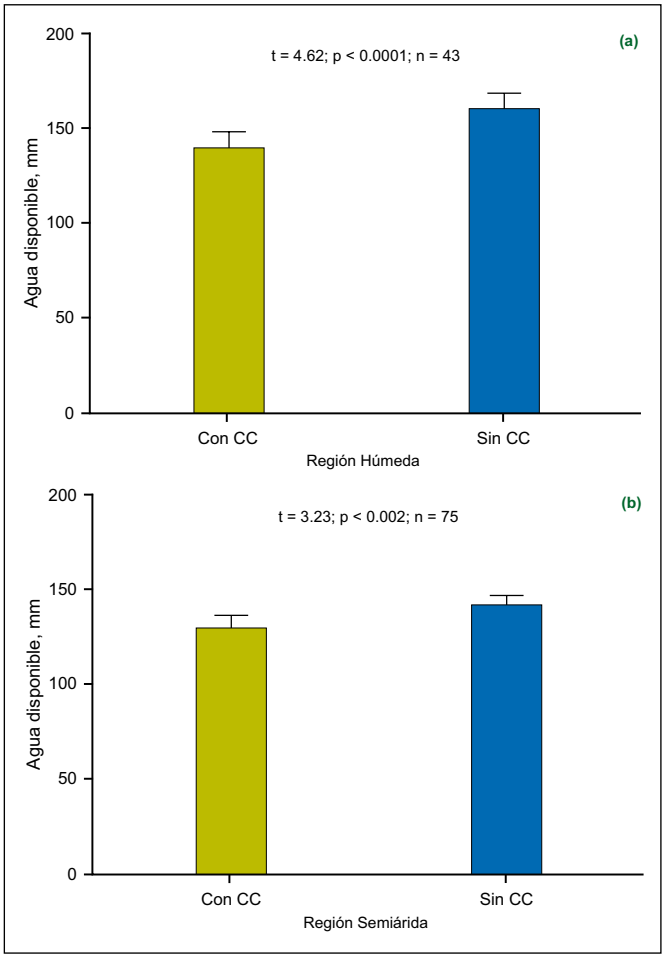


Figura 2. Agua disponible promedio a la siembra del cultivo principal (soja o maíz) con y sin cultivos de cobertura, para la región húmeda (a) y semiárida (b). Las lineas por encima de las barras indican el error estándar.

a la erosión (Ronconi et al., 2008), y aumentando la tasa de infiltración (Álvarez et al., 2009; Varela et al., 2010; Barraco et al., 2012) y la estabilidad estructural (Smolko et al., 2010; Varela et al., 2010). En cambio, la densidad aparente, expresión de la porosidad total del suelo, en general no evidenció cambios al incluir CC en la rotación (Taboada et al., 2009; Lardone et al., 2012; Carfagno et al., 2014).

Efectos sobre el contenido de agua del suelo

Para evaluar el contenido de agua disponible a la siembra del cultivo (soja o maíz) después de un CC, se recopilaron y analizaron los resultados de experimentos realizados por diversos autores (Álvarez et al., 2008; Ronconi et al., 2008; Baigorria et al., 2012; Barraco et al., 2012; Fargioni et al., 2012; Fernandez et al., 2012; Mandrini et al., 2012; Miranda et al., 2012, 2014; Ortiz et al., 2012; Restovich et al., 2012; Scianca et al., 2012; Vilches et al., 2012; Capurro et al., 2013; Carfagno el al., 2013; Klein, 2013; Ridley, 2013; Rillo et al., 2013; Álvarez et al., 2014; Baigorria et al., 2014; Costa et al., 2014; Varillas et al., 2014). Estos experimentos se desarrollaron, en general, en dos grandes áreas: la húmeda donde predominan los suelos Argiudoles y Hapludoles con precipitaciones anuales promedio en general superiores a los 800 mm, y la zona semiárida donde predominan los Hapludoles, Haplustoles y Entisoles, con precipitaciones anuales promedio en general inferiores a los 800 mm. Los resultados obtenidos muestran que, en ambas regiones, el contenido de agua del suelo es significativamente menor a la siembra del cultivo principal (soja o maíz), cuando hubo previamente un CC. Sin embargo, la magnitud de las diferencias encontradas fue distinta según la zona considerada. En la zona húmeda se determinó en promedio 21 mm menos de agua con un CC previo ($p < 0.0001$; $n = 43$) **(Figura 2a)**. El rango de diferencias varió entre 71 mm más y 36 mm menos de agua ante la presencia de un CC previo. En la semiárida se encontraron en promedio 11.7 mm menos de agua ($p < 0.002$; $n = 75$) **(Figura 2b)**. En este caso los valores extremos fueron de 101 mm más y 40 mm menos con un CC previo. En cambio, cuando el lapso entre el fin del CC y la siembra del cultivo de interés fue mayor a 2 meses no se encontraron diferencias en el contenido de agua en ninguna de las zonas.

Efectos sobre el contenido de nitrato

El contenido de nitrato en los primeros 60 cm del suelo, a la siembra del cultivo principal fue en promedio 34 kg $N\text{-}NO_3$ ha^{-1} menor después de un CC de especies

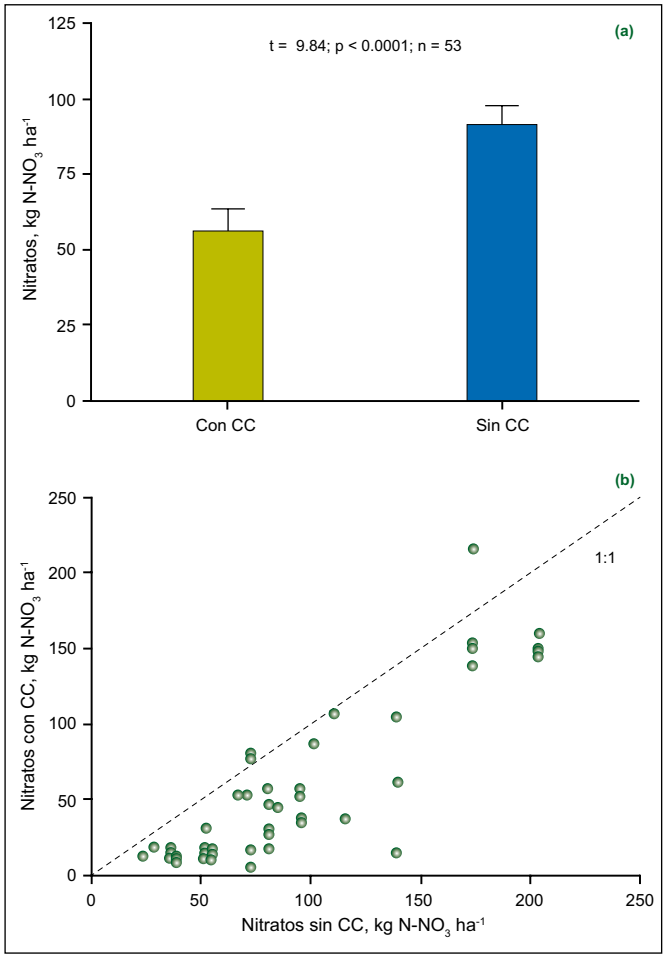


Figura 3. (a) Contenido de nitrato (0-60 cm) a la siembra del cultivo principal (soja o maíz) con y sin cultivo de cobertura de gramíneas previo. Líneas: Error estándar. (b) Relación entre el contenido de nitrato (0-60 cm) a la siembra del cultivo principal (soja o maíz) con y sin cultivo de cobertura de gramíneas previo. La línea punteada indica la relación 1:1.

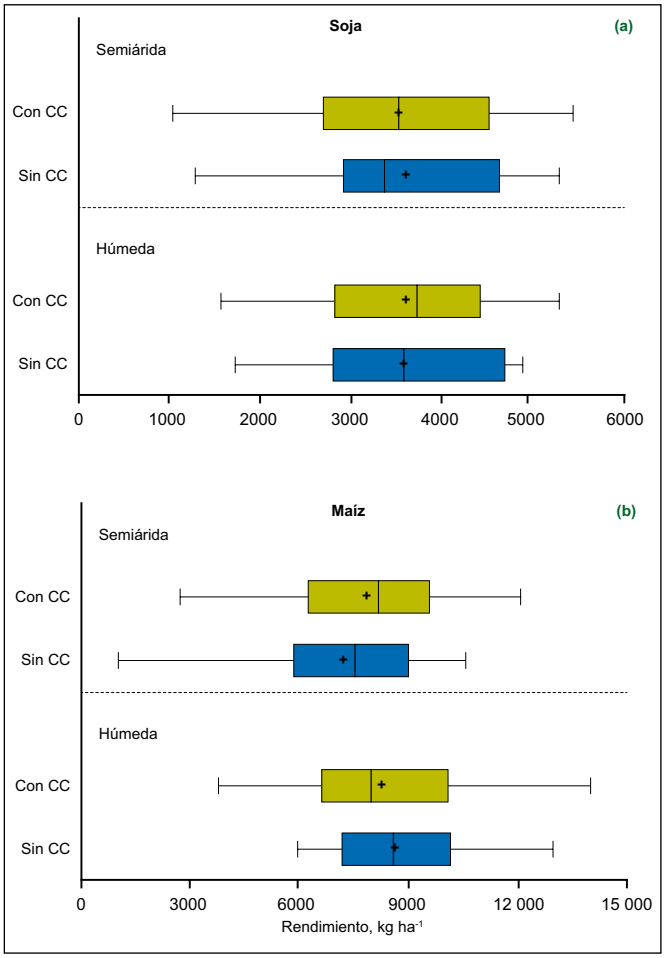


Figura 4. Rendimientos de soja (a) y maíz (b), con y sin cultivo de cobertura previo (Con CC y Sin CC, respectivamente) para las subregiones húmeda y semiárida de la región pampeana. Las líneas externas de las cajas representan los cuartiles 0.25 y 0.75, y la interna la mediana. Los extremos de las líneas horizontales representan los valores mínimos y máximos. Los signos + representan las medias de los tratamientos. Diferencias significativas entre tratamientos para una determinada zona: * (t-apareado; p < 0.05).

gramíneas **(Figura 3)** (Álvarez et al., 2008; Sardiña et al., 2008; Scianca et al., 2010; Lardone et al., 2011; Baigorria et al., 2012; Fargioni et al., 2012; Fernández et al., 2012; Mandrini et al., 2012; Restovich et al., 2012; Klein 2013; Miranda et al., 2014). En cambio, cuando el CC era una leguminosa no se observó disminución en el contenido de nitrato.

Por otro lado, los CC con especies leguminosas pueden incrementar el nivel de nitrato en el suelo, debido a que al fijar N atmosférico enriquecen el suelo con este nutriente. Usando el isótopo ^{15}N, Penón et al. (2010) determinaron una fijación del orden de 29 kg N ha^{-1} usando trébol rojo como CC invernal en un suelo Argiudol típico. Este ingreso de N en el sistema puede verse reflejado en el rendimiento del cultivo siguiente. Por ejemplo, Baigorria et al. (2012) luego de un CC leguminosa (*Vicia villosa*) encontraron un 34% más de rendimiento en maíz (no fertilizado) en comparación con el uso de otras especies (gramíneas) como CC o de barbecho desnudo. Los CC retienen nitrógeno (N) en sus tejidos disminuyendo su susceptibilidad a lixiviarse. Luego de la descomposición de dichos residuos y la liberación del N retenido puede incrementarse el nivel de N disponible (Rimski-Korsakov et al., 2015).

Efectos sobre el rendimiento del cultivo principal

Los CC pueden afectar el rendimiento de los cultivos principales, en forma ya sea positiva o negativa. Se pueden esperar incrementos en los rendimientos cuando el CC contribuye a un mejor control de malezas y plagas o a mejoras en las propiedades físicas y químicas del suelo. Los efectos negativos están dados por la competencia por recursos entre el CC y el cultivo de interés, como ya se adelantó, especialmente agua y nutrientes. En este sentido, se analizaron los datos disponibles de experimentos correspondientes a maíz y soja, cultivados en las zonas pampeanas húmeda y semiárida **(Figura 4)** (Balboa et al., 2012; Bonvecchi y Cabrera 2012; Diez et al., 2012; Lardone et al., 2012; Ortiz et al., 2012; Restovich et al., 2012; Rinaudo et al., 2012; Scianca et al., 2012; Vilches et al., 2012; Álvarez et al., 2013; Boiero et al., 2013; Capurro et al., 2013; Caviglia et al., 2013; Cazorla et

al., 2013; Klein 2013; Lardone et al., 2013; Martínez et al., 2013; Scianca at al., 2013; Baigorria et al., 2014; Carfagno et al., 2014; De Sá Pereira et al., 2014; Eiza et al., 2014; Miranda et al., 2014).

En la zona húmeda, ni el rendimiento de la soja ($p = 0.55$; $n = 82$) ni el del maíz ($p = 0.148$; $n = 54$), fueron significativamente afectados por el desarrollo de un CC previo **(Figura 4)**. Esto muestra que los menores contenidos de agua encontrados en esta zona cuando se implantó un CC previo **(Figura 2a)** no afectaron el rendimiento; seguramente las lluvias de primavera-verano lograron revertir dicha situación. En la zona semiárida, el rendimiento de la soja tampoco mostró diferencias entre suelos donde había un CC previo o el suelo estaba desnudo ($p = 0.08$; $n =73$) **(Figura 4)**. En forma opuesta, en esta zona, el maíz rindió en promedio 620 kg ha^{-1} más cuando previamente había un CC ($p < 0.01$; $n = 45$). Probablemente esto se deba a una mejor eficiencia en la dinámica del agua, pues con el suelo cubierto con CC, disminuye la evaporación, entre otros efectos benéficos de este manejo.

Efectos sobre la economía de la tecnología

Habitualmente los márgenes económicos son menores cuando se realiza esta práctica. Esto se debe a los mayores costos en los que se incurre al realizar un CC, y al escaso efecto positivo de los mismos sobre los rendimientos de los cultivos comerciales (Domínguez et al., 2014a; 2014b). En este sentido, resulta de interés la evaluación de CC leguminosas o mezcla de leguminosas con gramíneas, donde el aporte de N por fijación, y consecuente ahorro de fertilizante, puede contrarrestar los costos de la realización del CC.

Conclusiones

Los estudios locales mostraron claros efectos beneficiosos debido al uso de CC sobre el contenido de MO del suelo, la tasa de infiltración, la resistencia a la penetración radical y la estabilidad estructural, así como una disminución en la erosión. El contenido de agua disponible en el suelo es menor luego de un CC, en forma más marcada en la zona húmeda. Por esa razón, el manejo del CC (por ejemplo la duración del barbecho entre el CC y el cultivo principal), es crucial en este sentido. Excepto en el efecto positivo sobre el maíz en la región pampeana semiárida, los rendimientos de los cultivos principales de la región no fueron afectados por la presencia o no de un CC.

Los CC son una herramienta útil y, en ocasiones necesaria, para disminuir la degradación de los suelos de la región pampeana. Fundamentalmente, mantienen el suelo cubierto luego de cultivos anuales de bajos residuos como la soja. Sobre esta base, esta tecnología contribuye a la sustentabilidad de la agricultura en la región, especialmente en monocultivos de soja. Sin embargo, económicamente, el uso de CC es dudoso a corto plazo para los productores, ya que usualmente no se contemplan los beneficios a largo plazo.

Referencias

Alessandria, E., M. Arborno, H. Leguía, L. Pietrarelli, J.V. Sanchez, y J.L. Zamar. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 128-137.

Álvarez, C, C. Scianca, M. Barraco, y M. Díaz Zorita. 2008. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Álvarez, C., M. Barraco, M. Perez, I. Perez, C. Scianca, M. Buffarini, P. Davies, y R. Hernández. 2009. Informe Técnico 2009 del centro regional Buenos Aires norte. INTA. pp. 155-158.

Álvarez, R.. y H.S. Steinbach. 2012. En: Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana, Editorial Facultad de Agronomía. pp. 231-244.

Álvarez, C., R. Bagnato, C.P. Lienhard, y A. Quiroga. 2013. Simposio Fertilidad 2013 pp. 80-87.

Álvarez, C., C.R. Álvarez, A. Costantini, y M. Basanta. 2014. Soil and Tillage Research 142:25-31.

Baigorria, T., C.R. Cazorla, D. Santos Sbiscio, V. Pegoraro, y J. Ortiz. 2012. Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez. No. 24

Baigorria, T., C. Cazorla, P. Belluccini, B. Aimeta, V. Pegoraro, M. Boccolini, y C. Álvarez. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Balboa, G.R., G. Saggiorato, M. Beltrame, C. Cerliani, A. Marengo, y G. Espósito. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Barraco, M., C. Álvarez, y C. Scianca. 2009. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables: Fósforo, nitrógeno y cultivos de cobertura, Bahía Blanca.

Barraco, M., C. Scianca, A. Lardone, C. Álvarez, y M. Díaz Zorita. 2012. En: Cereales de invierno: la investigación científico-técnica desarrollada por el INBA, CONICET-FAUBA, el BIOLAB Azul, CIC-PBA-FIBA-FAUNCPBA, la Facultad de Agronomía-UBA y la Facultad de Agronomía-UNCPBA. ed., Buenos Aires. Argentina. pp. 231-238.

Boiero, J.P., J. Romagnoli, S. Lorenzatti, D. Peruzzi, S. Muñoz S, M. Sánchez, y A. Bianchini. 2013. Simposio Fertilidad 2013 pp. 156-169.

Bonvecchi, V.E., y A.E. Cabrera. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Brambilla, E.C., M.J. Eiza, A.R. Quiroga, y P.F. Carfagno. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Capurro, J., M.J. Dickie, J. Surjack, J. Monti, D. Ninfi, A. Zazzarini, E. Tosi, J. Andriani, y M.C. Gonzalez. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 92-104.

Carfagno, P., M. Eiza, F. Babinec, y A. Quiroga. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 36-49.

Carfagno, P., M.J. Eiza, J.M. Rivera Vazquez, A. Quiroga, y F. Babinec. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Caviglia, O.P., L. Novelli, V.C. Gregorutti, N.V. Van Opstal, y R.J. Melchiori. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de

producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 148-157.

Cazorla, C., C. Galarza, I. Moreno, y J. Cisneros. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Cazorla, C., A. Lardone, M. Bojanich, B. Aimetta, D. Vilches, y T. Baigorria. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 181-185.

Cosentino, D.J., A.O. Costantini, y C. Galarza. 2008. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Costa, M.C., V.E. Bonvecchi, J. Irigoin, A.Dettler, S. Rutti, y L. Bulos. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Diez, S.N., G.F. Domínguez, y G.A. Studdert. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

De Sá Pereira, E., J.A. Galantini, A.R. Quiroga, y M.R. Landriscini. 2014. Ciencia del Suelo 32:219-231.

Domínguez, J., M.F. Varela, L. Pagliettini, P. Prystupa, y F. Gutiérrez Bohem. 2014a. IV Congreso Regional de Economía Agraria, Buenos Aires.

Domínguez, J., M.F. Varela, L. Pagliettini, P. Prystupa, y F.H. Gutiérrez Boem. 2014b. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Eiza, M.J., P.F. Carfagno, y C. Irurtia. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Fargioni, M., C. Vega, T. Baigorria, J. Pietrantonio, y C.R. Cazorla. 2012. Informe de actualización técnica. EEA Marcos Juárez. No. 24.

Fernández, R., A. Quiroga, y E. Noellemeyer. 2012. Ciencia del Suelo 30:137-150.

Giron, P., C. Scianca, M. Barraco, A. Lardone, y W. Miranda. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Jensen, L.S., T. Salo, F. Palmason, T.A. Breland, T.M. Henriksen, B. Stenberg, A. Pedersen, C. Lundström, y M. Esala. 2005. Plant and Soil 273:307-326.

Klein, R.F. 2013. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 11:20-26.

Lardone, A.V., C. Justo, M.R. Barraco, C.M. Scianca, y W.R. Miranda. 2013. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2012-2013.

Lardone, A.V., M. Barraco, C. Scianca, C. Álvarez, y M. Díaz-Zorita. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Lardone, A.V.; M. Barraco; C. Scianca, y C. Álvarez. 2011. INTA. EEA Villegas. Memoria técnica 2010-2011. pp. 30-32.

Lardone, A., C. Scianca, M. Barraco, W. Miranda, C. Álvarez, A. Quiroga, y F. Babinec. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

MAGyP. 2015. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. http://www.siia.gob.ar/sst_pcias/estima/estima.php

Mandrini, E., M. Barraco, C. Scianca, y C. Costa. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Martínez, J.P., P.A. Barbieri, H.R. Sainz Rozas, y H.E. Echeverría. 2013. The Open Agriculture Journal 7:3-10.

Milesi Delaye L.A., A.B. Irizar, G.O. Magrín, y A.E. Andriulo. 2014. En: Suelos, Producción Agropecuaria y Cambio Climatico Avances en Argentina eds. C. Pascale Medina. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, E-Book.

Miranda, W.R., C. Scianca, M. Barraco, C. Álvarez, y A. Lardone. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Miranda, W., C. Scianca, A. Lardone, M. Barraco, y G. Abadie. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Ortiz, J., M. Bojanich, L. Ferreyra, C. Cazorla, T. Baigorria, A. Canale, y V. Pegoraro. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Penón, E., C. Di Ciocco, M. Galván, O. Correa, M. Díaz Zorita, y J. Heredia. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Restovich, S.B., A.E. Andriulo, y S.I. Portela. 2012. Field Crops Research 128:62-70.

Ridley, N. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 7-15.

Rillo, S., C. Álvarez, R. Bagnato, y E. Noellemeyer. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp. 58-68.

Rimski-Korsakov, H, M.S. Zubillaga, M.R. Landriscini, y RS Lavado. 2015. Journal of Soil and Water Conservation (en prensa).

Rinaudo, D., T. Baigorria, C.R. Cazorla, y M.F. Boccolini. 2012. XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Ronconi, A.P., P.S. Silvestre, M.F. Saluzzio, y J. De Battista. 2008. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Sardiña, C., L. Guerrero, M. Orelia, y A. Quiroga. 2008. VII Congreso Nacional de trigo, Argentina.

Scianca, C., M. Barraco, y C. Álvarez. 2009. Memoria Técnica, 2008-9. EEA INTA Villegas, 25-28.

Scianca, C., C. Álvarez, M. Barraco, y A. Quiroga. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Scianca, C., W. Miranda, A. Lardone, M. Barraco, y G. Abadie. 2012. INTA EEA General Villegas, Memoria Técnica, 2011-2012.

Scianca, C., M.F. Varela, M. Barraco, C. Álvarez, y A. Quiroga. 2013. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción, eds. C. Álvarez et al. INTA EEA Anguil. pp: 105-116.

Smolko, L., D. Cosentino, y F. Micucci. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Taboada, M., M.F. Varela, P. Fernández, C. Álvarez, C. Scianca, y G. Rubio. 2009. INTA General Villegas. Informe técnico.

Varela, M.F., P.L. Fernández, C. Álvarez, C. Scianca, G. Rubio, y M.A. Taboada. 2010. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Varillas, G., F. Pedraz, B. Kruk, y M. Barraco. 2014. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Vilches, D., T. Baigorria, C. Cazorla, B. Aimetta, D. Santos, M. Bojanich, J. Ortiz, y V. Pegoraro. 2012. EEA INTA Marcos Juárez.

Fertilización nitrogenada y azufrada de cebada cervecera cv. Scarlett en la provincia de Buenos Aires

I. Efectos sobre el rendimiento y el contenido proteico de los granos

P. Prystupa[1,*], G. Ferraris[2], L. Ventimiglia[3], T. Loewy[4], L. Couretot[2], R. Bergh[5] y F.H. Gutiérrez-Boem[1]

Introducción

En la última década, la cebada cervecera ha tomado una importancia creciente en las rotaciones agrícolas de la región pampeana argentina. Las variedades utilizadas, entre las que aún hoy predomina el cultivar Scarlett, se caracterizan por su alto rendimiento y su tendencia a presentar bajos contenidos proteicos de los granos (CPG). Para ser utilizada por las malterías, la cebada debe tener un CPG intermedio, ni excesivamente alto ni muy bajo (Savín y Aguinaga, 2011). Por lo tanto, el manejo de la fertilización nitrogenada es fundamental para alcanzar altos rendimientos y adecuada calidad industrial. Las investigaciones realizadas en la provincia de Buenos Aires han permitido establecer que las variedades actualmente cultivadas de cebada pueden tener una alta respuesta a la fertilización nitrogenada evaluada tanto en términos de rendimiento como de CPG (Daverede et al., 2013; Ferraris et al., 2014; Ross et al., 2011; Ross et al., 2013). Sin embargo, no se ha logrado aún predecir o, al menos, explicar esta respuesta.

Una alternativa para aumentar el CPG consiste en complementar las fertilizaciones nitrogenadas realizadas entre siembra y macollaje, con aplicaciones foliares durante espigazón. En Argentina, se ha observado que las aplicaciones durante esta etapa suelen producir aumentos del CPG sin efectos sobre el rendimiento (Daverede et al., 2013; Ross et al., 2011). Esta aplicación se realiza cuando ya ha transcurrido una parte del ciclo del cultivo, razón por la cual se podría diagnosticar la necesidad de fertilización con mayor precisión. El diagnóstico en este estadío fenológico puede realizarse evaluando ciertas características de las plantas. En nuestro país, se ha logrado predecir satisfactoriamente la respuesta a la fertilización nitrogenada durante antesis en trigo, mediante el índice de verdor en hoja utilizando el clorofilómetro (Bergh et al., 2000).

En la región pampeana, las deficiencias de azufre (S) constituyen una de las tres principales limitantes nutricionales para la productividad de los cultivos. Se han observado respuestas a la fertilización azufrada por ejemplo, en trigo (Salvagiotti et al., 2009). En un ensayo realizado en el partido de Bragado empleando cebada cv. Scarlett, Michiels y Degenhart (2004) detectaron una importante respuesta a la fertilización azufrada en el norte de la provincia de Buenos Aires. Sin embargo, Ross et al. (2011) no comprobaron efectos generalizados de la fertilización azufrada en el sur de la provincia.

En esta serie de artículos presentamos los resultados finales de una red de experimentos iniciada en el marco del convenio INTA-Fertilizar. Incluimos información que ya ha sido presentada parcialmente en esta revista (Prystupa et al., 2008) y en diversos congresos. Los objetivos del presente trabajo son: i) evaluar los efectos de la fertilización nitrogenada y azufrada entre siembra y macollaje y de la fertilización nitrogenada en espigazón, sobre el rendimiento, y CPG de los granos, y ii) explicar las variaciones del rendimiento y del CPG ocurridas por efecto de la fertilización nitrogenada y azufrada en las zonas productoras de cebada de la provincia de Buenos Aires, utilizando variables del suelo, de manejo y climáticas simples de medir.

Materiales y métodos

Entre los años 2005 y 2008 se realizaron 25 experimentos distribuidos en el área de cultivo de cebada de la provincia de Buenos Aires **(Tabla 1)**. Se empleó la variedad Scarlett y se realizaron las prácticas culturales habituales para cada región. Todos los tratamientos fueron fertilizados con 20 kg de P ha^{-1} durante la siembra.

El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones, excepto en los sitios de Junín y Baigorrita, donde se realizaron cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados correspondieron a la combinación de distintos niveles de fertilización nitrogenada y azufrada a la siembra, y fertilización nitrogenada en espigazón **(Tabla 2)**. Los diferentes niveles de N inicial se establecieron como la suma del N de nitrato presente en el suelo antes de la siembra (0-60 cm de profundidad), y el N aplicado con el fertilizante nitrogenado. Los tratamientos fertilizados con S recibieron 10 kg S ha^{-1}, en una fuente soluble junto con la fertilización nitrogenada inicial. La fertilización nitrogenada se realizó durante macollaje en los ensayos realizados en el sur de la provincia (ensayos 1 a 10), e inmediatamente después de la siembra, en los realizados en el norte de la provincia (ensayos 10 a 25). Para ello, se aplicó urea en todos los experimentos, excepto en los ensayos 5 a 10 donde se empleó UAN. La fertilización nitrogenada foliar en espigazón se realizó aplicando urea en solución con bajo contenido de biuret sobre el canopeo.

Previo a la fertilización foliar en espigazón, se determinó el índice de verdor mediante un clorofilómetro (Minolta SPAD 502). En el cultivo de trigo esta medición se realiza usualmente en la hoja bandera; pero dado que la hoja bandera en cebada es muy pequeña, la medición se

[1] Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (FAUBA)
[2] EEA INTA Pergamino
[3] UEEA INTA 9 de Julio
[4] EEA INTA Bordenave
[5] EEA INTA-MAA Chacra Experimental Integrada de Barrow
* Autor de contacto. Correo electrónico: prystupa@agro.uba.ar

Tabla 1. Algunas características de los ensayos realizados.

Nº	Año	Localidad	Partido	Lab.	Años Agricultura	Suelo	Cul. Ant.	Pp. mm
1	2005	San Francisco Belloq	Tres Arroyos	L.C.	> 20	H.t.	G	280
2	2006	San Francisco Belloq	Tres Arroyos	L.C.	> 20	H.t.	S	294
3	2005	Micaela Cascallares	Tres Arroyos	S.D.	> 10	A.t.	T	257
4	2006	Micaela Cascallares	Tres Arroyos	S.D.	> 10	H.t.	T	328
5	2005	Púan	Púan	L.C.	6	Hs.t.	A	211
6	2006	Púan	Púan	L.C.	5	Hs.t.	G	154
7	2005	Coronel Suárez	Coronel Suárez	L.C.	> 10	A.t.	T	211
8	2006	Coronel Suárez	Coronel Suárez	S.D.	12	A.t.	T	297
9	2007	Coronel Suárez	Coronel Suárez	L.C.	10	A.t.	T	273
10	2007	Coronel Suárez	Coronel Suárez	L.C.	10	A.t.	T	273
11	2005	Dennehy	9 de Julio	L.C.	7	H.e.	S	382
12	2006	Anderson	Bragado	S.D.	5	H.e.	S	435
13	2006	Anderson	Bragado	S.D.	5	H.e.	S	435
14	2005	Baigorrita	General Viamonte	L.C.	> 10	H.t.	S	274
15	2006	Baigorrita	General Viamonte	L.C.	> 10	H.t.	S	423
16	2008	Baigorrita	General Viamonte	L.C.	> 10	H.t.	S	339
17	2005	Junín	Junín	S.D.	> 20	H.e.	S	335
18	2006	Junín	Junín	S.D.	> 10	H.e.	S	422
19	2008	Junín	Junín	S.D.	> 20	H.e.	S	350
20	2005	Arribeños	General Arenales	S.D.	> 20	H.t.	S	324
21	2006	Arribeños	General Arenales	S.D.	> 10	H.t.	S	447
22	2007	Arribeños	General Arenales	S.D.	> 10	H.t.	S	215
23	2008	Arribeños	General Arenales	S.D.	> 10	H.t.	S	307
24	2005	La Trinidad	General Arenales	S.D.	> 20	A.t.	S	297
25	2006	La Trinidad	General Arenales	S.D.	> 10	A.t.	S	336

Lab: sistema de labranza; Años Agricultura: años desde la última pastura; Cult. Ant.: cultivo antecesor; S.D.: siembra directa; L.C.: labranza convencional; A.t.: Argiudol típico, H.t.: Hapludol típico, Hs.t. Haplustol típico, H.e.: Hapludol éntico, T: trigo, G: girasol, A: avena, S: soja. Pp: precipitaciones entre los meses de junio y noviembre

realizó en la anteúltima hoja, en 20 plantas por parcela. La cosecha se efectuó en forma manual y se trilló en trilladora estacionaria. Sobre las muestras obtenidas se determinó el CPG del grano. El CPG se determinó mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR), calibrado con mediciones realizadas mediante el método de Kjeldhal. A partir del rendimiento y el contenido de N de los granos (que se calculó dividiendo el CPG por un factor igual a 6.25), se estimó el N en grano por unidad de superficie.

Los resultados se analizaron por análisis de varianza. Cuando el efecto de los tratamientos fue significativo, se realizaron contrastes específicos entre medias previamente planeados utilizando la diferencia mínima significativa según lo detallado en la **Tabla 3**. Para determinar el efecto simple del N inicial (Ni), las interacciones entre este y el S, y la interacción entre el N inicial y el N en espigazón (Ne), se combinaron contrastes. Las relaciones entre las variables fueron analizadas mediante regresiones simples y múltiples. Las variables independientes en las regresiones múltiples fueron seleccionadas mediante el método de "*stepwise*". Se consideraron los efectos lineales, cuadráticos y las interacciones entre las variables, y se utilizó la restricción de que ninguna variable independiente posea un "*variance inflation factor*" mayor a 2.

Resultados

Rendimiento

La amplia distribución geográfica y la variación interanual de las condiciones meteorológicas determinaron una gran variación de los rendimientos obtenidos: desde 1500 hasta casi 7000 kg ha^{-1}. Se observaron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada inicial en 10 de

Tabla 2. Tratamientos realizados en los ensayos evaluados.

Tratamiento	N inicial $N\text{-}NO_3$ en el suelo + N del fertilizante kg N ha^{-1}	Cantidad de nutriente aplicada kg ha^{-1} S en siembra	 N en espigazón
N0	Testigo	0	0
N1	70 (ó 100)	0	0
N2	100 (ó 130)	0	0
N3	130 (ó 160)	0	0
N1S	70 (ó 100)	10	0
N2S	100 (ó 130)	10	0
N3S	130 (ó 160)	10	0
N1SNe	70 (ó 100)	10	20
N2SNe	100 (ó 130)	10	20
N3SNe	130 (ó 160)	10	20

Nota: El N inicial indicado entre paréntesis indica los niveles de disponibilidad de N empleados en los experimentos 7, 8, 13, 20, 21 y 24. Ne representa N aplicado en espigazón del cultivo.

Tabla 3. Contrastes de interés entre tratamientos empleados en el análisis estadístico.

Contraste Nº	Tratamientos	Efecto
1	N0 vs (N1, N2 y N3)	N inicial
2	N1 vs (N2 y N3)	
3	N2 vs N3	
4	(N1, N2 y N3) vs (N1S, N2S y N3S)	S
5	(N1, N2S y N3S) vs (N1S, N2 y N3)	N inicial ∗ S
6	(N2 y N3S) vs (N3 y N2S)	
7	(N1S, N2S y N3S) vs (N1SNe, N2SNe y N3SNe)	N espigazón
8	(N1S, N2SNe y N3SNe) vs (N1SNe, N2S y N3S)	N inicial ∗ N espigazón
9	(N2S y N3SNe) vs (N1SNe y N3S)	

los 25 ensayos **(Tabla 4)**. El rendimiento aumentó entre el 24% y el 45%, lo que representó incrementos superiores a una tonelada en 6 ensayos.

Los ambientes con bajo potencial productivo (evaluado mediante el rendimiento máximo alcanzado), no presentaron respuesta a la fertilización nitrogenada. Las mayores respuestas a la fertilización se observaron siempre en ambientes con alto nivel productivo, aunque también se observaron sitios con baja respuesta en estos ambientes **(Figura 1)**.

Los rendimientos no se relacionaron significativamente con la oferta de N, evaluada como la suma del N de nitrato hasta 60 cm de profundidad a la siembra (N suelo) más el N de los fertilizantes (regresión no significativa) **(Figura 2a)**. El N del suelo tampoco se asoció con el rendimiento de las parcelas sin fertilizar ni con la respuesta de los cultivos a la fertilización. Cuando se consideraron otras variables ambientales (materia orgánica y pH en el horizonte superficial, precipitaciones mensuales, etc.), se pudo establecer que el rendimiento se relacionó significativamente en forma positiva con el producto del N disponible por las precipitaciones de septiembre y con las precipitaciones de junio, agosto y octubre **(Tabla 5)**. Esto coincide con las simulaciones realizadas por Abeledo et al. (2011) mediante el modelo CERES Barley y con lo que observado Ross et al. (2011) en experimentos realizados en el sur de la provincia de Buenos Aires.

La fertilización azufrada incrementó significativamente los rendimientos en un sólo experimento (Experimento 25) y lo disminuyó en otro (Experimento 24) **(Tabla 4)**. La respuesta promedio en todos los ensayos fue de 97 kg ha^{-1}. Esta información sugiere que las deficiencias de este elemento en los cultivos de cebada de la región pampeana no son generalizadas.

Contenido proteico de los granos

En general, los CPG observados en esta red son bajos, de hasta 6.1%. En sólo 7 ensayos se observaron valores superiores a 12.5% que es considerado excesivo de acuerdo

Tabla 4. Respuesta del rendimiento al nitrógeno inicial (Ni), al azufre (S) y al nitrógeno en espigazón (Ne) y análisis de varianza en cada sitio. La respuesta al Ni se calculó como la diferencia entre el tratamiento N0 y el máximo de los tratamientos N1, N2 y N3. La respuesta al S se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (N1, N2 y N3) y (N1S, N2S y N3S). La respuesta a Ne se calculó como la diferencia entre los promedios de los tratamientos (N1S, N2S y N3S) y (N1SNe, N2SNe y N3SNe). En el análisis de varianza, NS indica p > 0.05 y el número indica la probabilidad cuando p < 0.05.

Sitio	---------- Respuesta, kg ha^{-1} ----------			---------- Análisis de varianza, valor p ----------				
	Ni	S	Ne	Ni	S	Ni ∗ S	Ne	Ni ∗ Ne
1	493	572	-586	NS	NS	NS	NS	NS
2	124	-14	309	NS	NS	NS	NS	NS
3	1644	-181	-71	0.021	NS	NS	NS	NS
4	680	510	-1064	NS	NS	NS	0.015	NS
5	254	-163	20	NS	NS	NS	NS	NS
6	353	83	-78	NS	NS	NS	NS	NS
7	1805	-7	-279	0.001	NS	NS	NS	NS
8	1278	261	457	0.001	NS	NS	0.032	NS
9	742	71	-93	0.031	NS	NS	NS	NS
10	1164	29	-130	0.001	NS	NS	NS	0.026
11	1526	141	251	0.043	NS	NS	NS	NS
12	794	-35	105	NS	NS	NS	NS	NS
13	785	133	127	NS	NS	NS	NS	NS
14	662	-101	117	NS	NS	NS	NS	NS
15	241	-200	355	NS	NS	NS	NS	NS
16	323	98	-124	NS	NS	NS	NS	NS
17	709	179	-116	0.015	NS	NS	NS	NS
18	881	-56	239	0.002	NS	NS	NS	NS
19	299	112	121	NS	NS	NS	NS	NS
20	82	343	43	NS	NS	NS	NS	NS
21	1307	301	147	0.010	NS	NS	NS	NS
22	254	-231	330	NS	NS	NS	NS	0.042
23	412	125	54	NS	NS	NS	NS	NS
24	952	-323	517	0.001	0.013	NS	0.001	NS
25	960	886	-125	NS	0.010	NS	NS	NS

Tabla 5. Modelos explicativos de rendimiento y proteínas. JUN, JUL, AGO, SEP y OCT son las precipitaciones (mm) durante los meses respectivos y Ndisp es el N en el fertilizante más N como NO_3^- de 0 a 60 cm de profundidad en pre-siembra (kg ha^{-1}).

Variable independiente	Modelo	R^2	R^2 Ajustado	RSME	p
Rendimiento	y = -746.480 + 38.0728 JUN + 48.5071 AGO + 39.8162 OCT -0.10081 OCT^2 + 0.10013 Ndisp x SEP	0.426	0.394	1 369 105	< 0.01
Proteínas	= 13.5096 + 0.02173 Ndisp - 9.479.10^{-5} JUL^2 - 0.06181 AGO -0.05294 OCT + 1.272.10^{-4} OCT^2	0.423	0.391	2.75530	< 0.01

Nota: RSME indica la raíz cuadrada del cuadrado medio del error, por sus siglas en inglés (Root Square Mean Error)

a las condiciones comerciales utilizadas en Argentina. Pero es conveniente destacar que las limitantes genéticas al CPG no son tan bajos: en un experimento se superó el 18% de proteínas en grano. La fertilización nitrogenada inicial incrementó significativamente el CPG en 18 de los 25 experimentos analizados **(Tabla 6)**. La respuesta promedio (calculada como la diferencia entre T0 y el mayor valor de T1, T2 y T3) fue de 2.02% de proteínas.

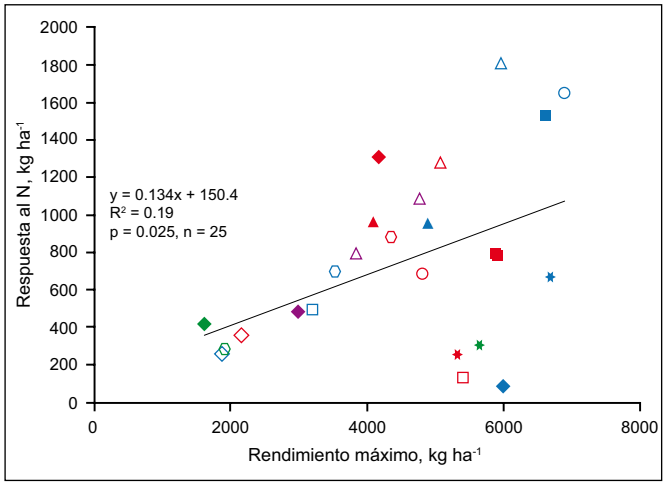


Figura 1. Respuesta del rendimiento a la fertilización nitrogenada (rendimiento máximo de los tratamientos fertilizados con N inicial menos rendimiento del testigo) en función del rendimiento máximo alcanzado en cada experimento. Distintas formas de marcadores indican distintas localidades, distintos colores indican distintos años (rojo indica 2005, azul 2006, violeta 2007 y verde 2008). La línea indica la regresión lineal.

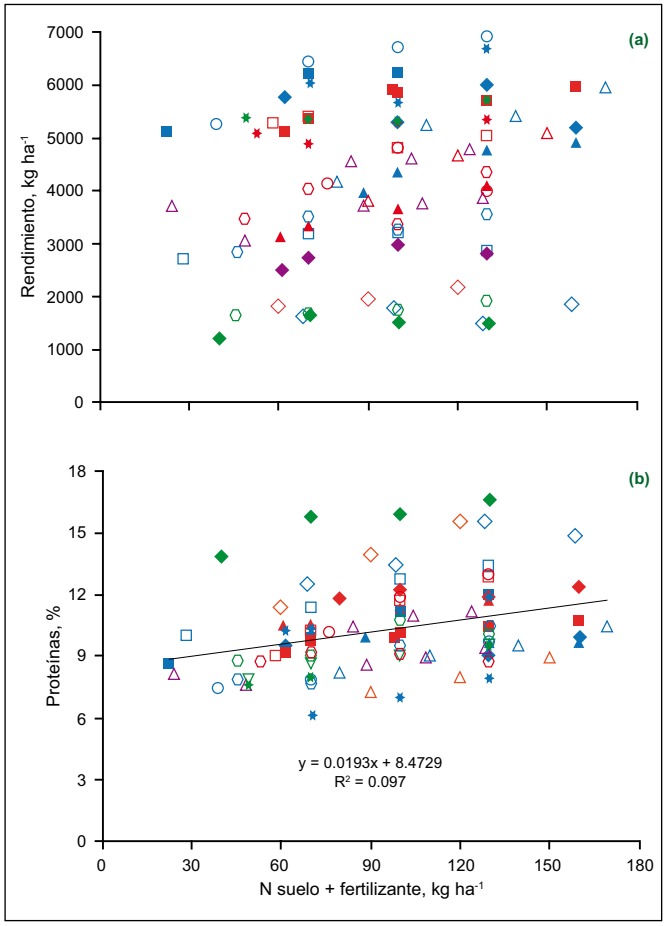


Figura 2. (a) Rendimiento y (b) CPG en función de la disponibilidad de N (N en el fertilizante + N en NO_3^- de 0 a 60 cm de profundidad en pre-siembra) en los tratamientos N0, N1, N2 y N3 (sin fertilización azufrada ni nitrogenada en espigazón). Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) repeticiones. Los símbolos son iguales que en la Figura 1. En (b) se indica la función ajustada (p = 0.002). El número de observaciones es de 96.

En promedio, por cada kilogramo de N aplicado con la menor dosis de fertilizante, el CPG aumentó 0.028%.

El CPG se relacionó muy débilmente a la suma del N disponible en el suelo y el agregado con el fertilizante mediante una función lineal **(Figura 2b)**. Considerando otras variables ambientales, en cambio, se pudo establecer que el CPG se relacionó positivamente con el N disponible y negativamente con las precipitaciones de julio, agosto y octubre **(Tabla 5)**. Por otra parte, la fertilización azufrada disminuyó significativamente el CPG en tres ensayos (Experimentos 6, 11 y 21) y lo aumentó en uno (Experimento 7). No se observó interacción significativa entre la fertilización azufrada y la nitrogenada inicial en ningún experimento.

La fertilización nitrogenada durante espigazón aumentó significativamente el CPG en diez ensayos **(Tabla 6)**. De la misma manera, en los ensayos en que los efectos no fueron significativos la fertilización nitrogenada durante espigazón también tendió a aumentar las proteínas (excepto en los Experimentos 3 y 15). Promediando todos los ensayos, la fertilización durante espigazón incrementó el CPG un 0.776% (en términos absolutos). Por cada kilogramo de N aplicado en este momento el CPG aumentó 0.039% (en términos absolutos), si se promedian todos los niveles de N inicial y 0.040% si sólo se comparan los tratamientos N1S y N1SNe. Por lo tanto, las aplicaciones en espigazón fueron un 33% más efectivas (en términos relativos) en incrementar el CPG que las realizadas en las etapas iniciales, aunque cabe señalar que las aplicaciones iniciales también aumentaron el rendimiento. La interacción entre las fertilizaciones nitrogenada inicial y en espigazón fue significativa sólo en el experimento 10, donde la fertilización en espigazón aumentó el CPG en N1 y N2 pero lo disminuyó en N3.

La respuesta del CPG a la fertilización nitrogenada en espigazón no se asoció en forma significativa con el índice de verdor. Para considerar las posibles variaciones entre sitios, se calculó un índice de verdor relativo dividiendo la observación obtenida en cada tratamiento por la medición obtenida con el máximo nivel de N inicial donde puede suponerse que no hubo limitantes en la disponibilidad de N, o al menos que fueron mínimas. Sin embargo, el índice de verdor relativo tampoco se asoció significativamente con la respuesta en términos de CPG a la fertilización nitrogenada en espigazón. Por lo tanto, las mediciones de índice de verdor no nos resultaron útiles para predecir la respuesta a la fertilización nitrogenada en espigazón en esta especie. En forma similar, Ross et al. (2013) observaron que la relación entre índice de verdor y CPG varía entre años, fechas de siembra o variedades. Es probable que el pequeño tamaño de las hojas terminales de la cebada (comparadas con las hojas del cultivo de trigo), haya incrementado el error de la determinación disminuyendo el valor predictivo de la medición.

El CPG se relacionó negativamente con el rendimiento **(Figura 3)**. La relación no fue lineal: cuando el rendimiento aumentó de 2000 a 4000 kg ha^{-1}, el CPG disminuyó el 2.2% mientras que aumentos de los rendimientos por encima de 4000 kg ha^{-1} prácticamente no afectaron el CPG. Los aumentos de rendimientos estuvieron acompañados de

Tabla 6. Respuesta del contenido proteico de los granos al nitrógeno inicial (Ni), al azufre (S) y al nitrógeno en espigazón (Ne) y análisis de varianza en cada sitio. Las respuestas se calcularon de la misma manera que en la Tabla 4.

Sitio	---------- Respuesta, % ----------			---------- Análisis de varianza, valor p ----------				
	Ni	S	Ne	Ni	S	Ni * S	Ne	Ni * Ne
1	3.4	-0.7	1.8	0.003	NS	NS	0.001	NS
2	3.8	-0.1	0.6	0.001	NS	NS	NS	NS
3	2.3	-0.2	0.7	0.001	NS	NS	0.001	NS
4	2.8	-1.1	1.4	0.017	NS	NS	0.012	NS
5	3.1	0.5	-0.1	0.001	NS	NS	NS	NS
6	4.2	-1.5	1.3	0.001	0.029	NS	NS	NS
7	2.2	0.5	0.2	0.001	0.024	NS	NS	NS
8	1.6	-0.1	0.8	0.001	NS	NS	0.001	NS
9	1.8	0.4	0.3	0.024	NS	NS	NS	NS
10	3.1	0.1	1.9	0.001	NS	NS	0.001	0.009
11	3.3	-0.9	0.9	0.001	0.011	NS	0.008	NS
12	1.3	-0.1	0.8	0.022	NS	NS	0.002	NS
13	1.6	-0.1	0.7	0.009	NS	NS	0.012	NS
14	1.9	0.5	0.3	0.037	NS	NS	NS	NS
15	0.4	0.6	0.0	NS	NS	NS	NS	NS
16	1.9	0.0	0.7	NS	NS	NS	NS	NS
17	2.6	-0.4	1.2	0.001	NS	NS	0.003	NS
18	1.7	-0.8	1.5	NS	NS	NS	0.001	NS
19	2.0	-0.4	1.5	NS	NS	NS	NS	NS
20	0.4	-0.2	0.5	NS	NS	NS	NS	NS
21	0.5	-0.7	-0.3	NS	0.037	NS	NS	NS
22	1.7	0.0	0.1	0.001	NS	NS	NS	NS
23	2.7	0.4	0.6	0.047	NS	NS	NS	NS
24	-0.3	0.1	0.5	NS	NS	NS	NS	NS
25	1.2	0.0	0.5	NS	NS	NS	NS	NS

incrementos en la cantidad de N en grano por unidad de superficie, incluso cuando el CPG disminuyó. Las variaciones en el CPG y en el rendimiento fueron determinadas por: i) cambios en la disponibilidad de N dentro de cada experimento; y ii) por las distintas condiciones climáticas, edáficas, bióticas y de manejo que tuvieron lugar en los distintos experimentos. Estas variaciones dentro de cada experimento no estuvieron asociadas a las variaciones del rendimiento **(Figura 4a)**. En cambio, cuando se comparó entre experimentos, los cambios en el CPG estuvieron asociados negativamente con el rendimiento **(Figura 4b)**.

Dentro de cada experimento el CPG tendió a aumentar con el nivel de la fertilización nitrogenada y, comparando entre experimentos, tendió a disminuir cuando aumentaba el rendimiento. Esto sugiere que el CPG es una consecuencia de la relación entre la oferta de N y el rendimiento. Para cuantificar esta relación se elaboró un índice dividiendo la disponibilidad de N por el rendimiento (Nd/R). La disponibilidad de N se calculó sumando el N presente como nitrato del suelo hasta 60 cm de profundidad más el N aportado por los fertilizantes. Se consideró el fertilizante nitrogenado inicial (Ni), el aplicado en espigazón (Ne), y el fertilizante nitro-fosforado como parte de Ni (e.g. en los ensayos en que se aplicó fosfato monoamónico de base). El Nd/R representa los kilogramos de N disponibles (suelo + fertilizante) por tonelada de grano. El CPG se asoció significativamente a este cociente **(Figura 5)**. Es interesante destacar que tanto los tratamientos con y sin S como los con y sin fertilización nitrogenada en espigazón, se distribuyeron uniformemente a ambos lados de la curva de regresión, indicando que la fertilización azufrada no alteró marcadamente esta relación.

La función obtenida permite estimar la cantidad de N por tonelada de grano necesaria para alcanzar un determinado CPG. Para alcanzar un CPG entre el 10% y el 12% se debe disponer entre 23.0 y 42.9 kg N t^{-1} grano. En la **Tabla 7** se indican los niveles de N disponible necesarios para alcanzar diversos valores de proteína.

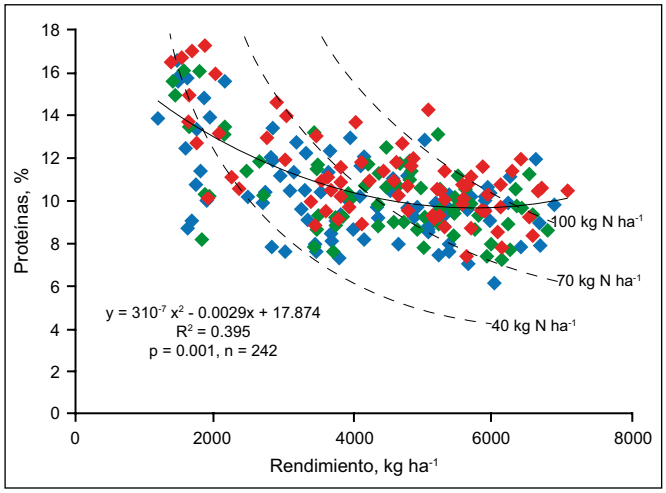


Figura 3. Relación entre el contenido proteico de los granos y el rendimiento. La línea llena indica la regresión ajustada, las líneas punteadas unen puntos de igual cantidad de N en grano por hectárea. Se indica la ecuación de la regresión ajustada. Las referencias son iguales a la Figura 1. Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) repeticiones.

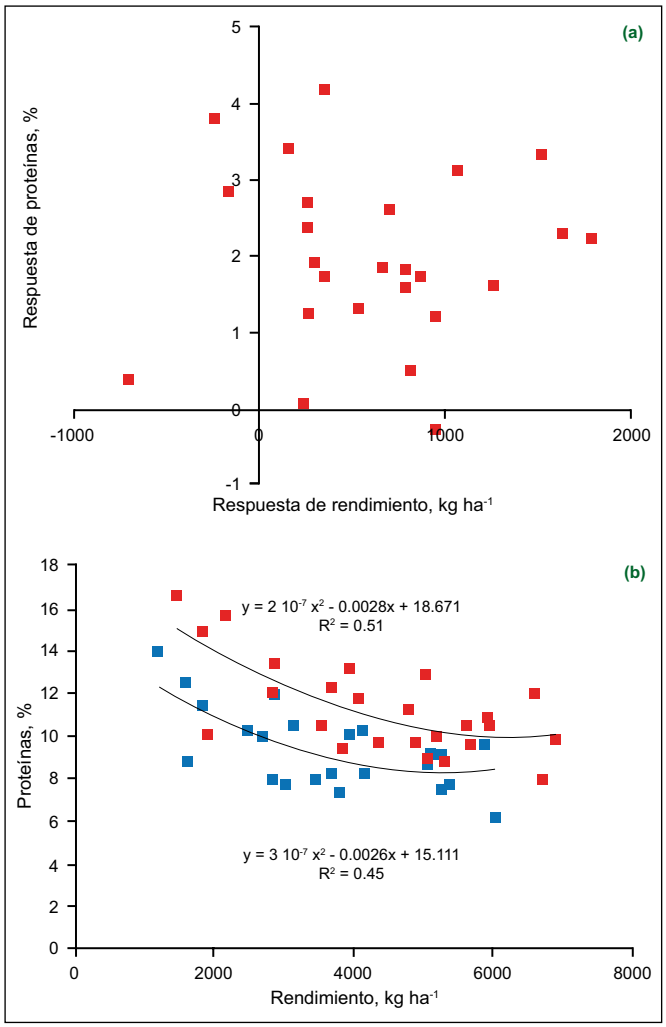


Figura 4. (a) Relación entre la respuesta del contenido proteico de los granos (CPG) calculada como la diferencia entre el CPG del tratamiento N0 y el mayor valor de N1, N2 y N3 en cada experimento y la respuesta del rendimiento calculada de la misma manera y (b) relación entre el CPG y el rendimiento en el tratamiento N0 (cuadrados celestes) y en el N4 (cuadrados rojos). Se indica la ecuación ajustada para tratamiento.

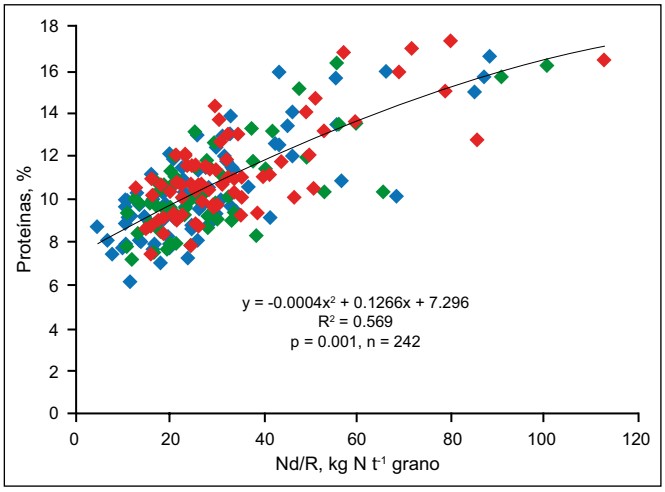


Figura 5. Relación entre el contenido proteico de los granos y el cociente entre la disponibilidad inicial de N en el suelo más el aportado por el fertilizante y el rendimiento obtenido (Nd/R). Se indica la ecuación ajustada. Las referencias son iguales a la Figura 1. Cada punto indica la media de las 3 ó 4 (de acuerdo al experimento) repeticiones.

Tabla 7. Requerimiento de N disponible (Nd/R) por tonelada de grano para alcanzar un determinado contenido proteico, calculado como la suma del N como nitrato en el suelo hasta 60 cm de profundidad más el N en el fertilizante.

Contenido proteico, %	Nd/R, kg N t^{-1} grano
10.0	23.0
10.5	27.7
11.0	32.5
11.5	37.6
12.0	42.9

Conclusiones

- La fertilización nitrogenada en las primeras etapas del cultivo resulta una herramienta muy útil para incrementar el rendimiento y el CPG. Por el contrario, lo observado en esta red sugiere que las deficiencias de S no son de ninguna manera generalizadas en los cultivos de cebada de la región pampeana.
- La respuesta del rendimiento a la fertilización nitrogenada está condicionada por la disponibilidad hídrica: el modelo explicativo del rendimiento incluye el producto del N disponible y las precipitaciones de septiembre.
- La disponibilidad hídrica tuvo también una gran importancia en la regulación del CPG. El modelo obtenidos incluye a las precipitaciones entre julio y octubre, mes en el que tuvo lugar el periodo crítico de determinación del número de granos. Pero es interesante destacar que las precipitaciones no aparecen multiplicando la disponibilidad de N, indicando que los efectos de la fertilización N sobre esta característica ocurren tanto en años húmedos como en años secos.
- Las fertilizaciones nitrogenadas en espigazón fueron más eficaces en aumentar el CPG que las realizadas

Anexo: Utilización del modelo para calcular la dosis de fertilizante nitrogenado (Tomado de Prystupa et al., 2008)

Antes de realizar la fertilización es posible estimar qué rendimiento se espera obtener en un lote. Esto usualmente se realiza promediando los rendimientos obtenidos en el lote en los últimos años, o a través de una evaluación basada en la experiencia del técnico que recomienda la fertilización.

El modelo presentado en la **Figura 5** incluye como variable dependiente al rendimiento. Si se reemplaza en las ecuaciones el rendimiento observado por un rendimiento estimado previo a la fertilización, el modelo se transforman en predictivo: permite estimar los requerimientos de N para alcanzar un CPG determinado. Es importante aclarar que las predicciones tienen un nivel de confiabilidad inferior a la que sugiere el R^2 del modelo porque la estimación del rendimiento está sujeta a un error que puede ser muy importante.

Para calcular los requerimientos de fertilizante nitrogenado utilizando el modelo que emplea la relación Nd/R se debe:

a) Estimar, antes de fertilizar, un rendimiento esperado en el lote.

b) Establecer que CPG quiero obtener. A partir de ello se calcula el índice Nd/R empleando la **Tabla 7** o la **Figura 5**.

c) Determinar el nitrato en el suelo hasta 60 cm de profundidad a la siembra.

Considerando que:

$$Nd/R\ (kg\ N\ t^{-1}\ grano) = Nd\ (kg\ N\ ha^{-1}) / Rendimiento\ (t\ grano\ ha^{-1})\ \text{- Ecuación A.}$$

$$Nd\ (kg\ N\ ha^{-1}) = Nd/R\ (kg\ N\ t^{-1}\ grano) * Rendimiento\ (t\ grano\ ha^{-1})\ \text{- Ecuación B.}$$

Donde: Nd = N como nitrato hasta 60 cm en siembra más N en el fertilizante, y R = rendimiento esperado.

La ecuación B permite calcular el N en el suelo más el fertilizante que debemos alcanzar para obtener un determinado CPG. Si le descontamos el N presente en el suelo a la siembra y el que aporta el fertilizante nitro-fosforado podemos calcular la dosis de fertilizante nitrogenado.

en las primeras etapas del cultivo. La fertilizaciones iniciales aumentaron los rendimientos en la mayoría de los ensayos, mientras que las realizadas en espigazón no los afectaron.

- La eficiencia con que se utilizó el fertilizante nitrogenado dependió principalmente de la dosis de aplicación y, una vez superada una cierta disponibilidad inicial, no varió marcadamente entre las primeras etapas del cultivo y espigazón. Esto sugiere que, si se aplica una dosis moderada de fertilizante nitrogenado a principio del cultivo, la postergación del resto de la dosis hasta espigazón es una opción tecnológicamente viable, ya que no habría reducciones importantes en la eficiencia del uso del nutriente.
- Las mediciones con el clorofilómetro SPAD no resultaron útiles para predecir la respuesta del CPG a la fertilización en espigazón.
- Los ambientes (es decir la combinación de año y localidad) en los que los rendimientos son altos, tienden a producir bajos CPG.
- Independientemente del momento en que se fertiliza, es posible estimar los requerimientos de N para obtener un determinado CPG si se estima un rendimiento esperado.

Agradecimientos

A Fertilizar Asociación Civil por el apoyo económico recibido durante los dos primeros años de ensayos y a Maltería Pampa S.A., en particular al Ing. Agr. Daniel Desmery del Laboratorio de la Planta Tres Arroyos, por los análisis de calidad de las muestras de cebada.

Bibliografía

Abeledo, L.G., D.F. Calderini, y G.A. Slafer. 2011. Modelling yield response of a traditional and a modern barley cultivar to different water and nitrogen levels in two contrasting soil types. Crop Pasture Sci. 62:289-298.

Bergh, R., A. Baez, A. Quattrocchio, y M. Zamora. 2000. Fertilización nitrogenada para calidad en trigo candeal. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 7:13-16.

Daverede, I., F. Miguez, R. Frigerio y J. Scanlan. 2013. Respuesta de la cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) a la fertilización y aplicación de fungicida. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca. Actas en CD.

Ferraris, G.N., F. Mousegne, M. Barraco, J. Cavo, L. Couretot, R. Falconi, E. Lemos, M. López de Sabando, G. Magnone, A. Martín, P. Melilli, O. Ferraris, A. Paganini, G. Pérez, R. Pontoni, J. Zanettini, C. Scianca, R. Solá, M.G. Tellería, y L. Ventimiglia. 2014. Rendimiento y respuesta comparada a fósforo y nitrógeno en trigo y cebada cervecera (2009, 2010, 2011, 2012 y 2013). XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca. Actas en Pen Drive.

Michiels, C., y S. Degenhart. 2004. Ensayo de fertilización de cebada cervecera, var. Scarlett. Informaciones Agronómicas del Cono Sur 22:18-20.

Prystupa, P., R. Bergh, G. Ferraris, T. Loewy, L. Ventimiglia, F.H. Gutierrez Boem, y L. Couretot. 2008. Fertilización nitrogenada y azufrada en cebada cervecera cv. Scarlett. Informaciones Agronómicas 38:5-11.

Ross, F., J. Massigoge, y M. Zamora. 2011. Fertilización de cebada cervecera en ambientes con tosca en el sur de Buenos Aires, Argentina. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 3:9-13.

Ross, F., M.L. Seghezzo, y L. Wehrhahne. 2013. Manejo de la calidad comercial del cultivo de cebada cervecera en suelos someros. IV Congreso Latinoamericano de Cebada. Bahía Blanca. Actas en CD.

Salvagiotti, F., J.M. Castellarín, D.J. Miralles, y H.M. Pedrol. 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113:170-177.

Savín, R., y A. Aguinaga. 2011. Los requerimientos de la industria: calidad comercial e industrial y sus determinantes. En: Cebada cervecera. D.J. Miralles, R.L. Benech Arnold y L.G. Abeledo (Eds.). Editorial Facultad de Agronomía. Buenos Aires. pp. 207-238 .

Conceptos de utilidad para lograr un correcto muestreo de suelos[1]

Ramiro Carretero*, Pablo A. Marasas, Esteban Souza, y Agustín Rocha

El muestreo de suelos es el primero de una serie de pasos dentro del proceso que lleva a la recomendación de fertilización y/o corrección de suelos (fuente, dosis, momento y forma). Antecede al análisis de las muestras, la interpretación de resultados y el diagnóstico. Además, de los distintos pasos dentro de este proceso, el muestreo es la mayor fuente de error (Cline, 1944). Se han observado errores de 3 a 6 veces superiores en el proceso de muestreo y acondicionamiento de la muestra que en el análisis de laboratorio, aún con procedimientos de muestreo más precisos que los usados comúnmente a campo.

El error de los análisis realizados en el laboratorio a una muestra de suelo es de baja magnitud. Sin embargo, la relación entre el tamaño de esa muestra (e.g. 1 kg, de la que además se utilizarán unos pocos gramos para el análisis) y el tamaño de la población (e.g. suelo comprendido en 20 cm de un lote de 50 ha = 125 000 000 kg) para la cual queremos estimar el valor de un nutriente, es varios ordenes de magnitud inferior a la existente en otras áreas. Así, esta relación es de, como máximo, 1:125 000 000 mientras que en un análisis de sangre, por ejemplo, esta relación es de aproximadamente 1:500 (10 ml/5000 ml). Esta es una de las cuestiones que convierten al muestreo en un punto crítico para el cual se deben extremar los cuidados, de modo de obtener una muestra representativa del lote o caso que se está estudiando.

El objetivo de este trabajo es presentar y discutir distintos conceptos y puntos críticos del proceso de muestreo de suelos para obtener muestras lo más representativas posible de cada lote o ambiente en estudio.

Metodologías de muestreo

Existen diversas metodologías de muestreo de suelos, la elección de una de ellas dependerá del objetivo que se persigue y, principalmente, de la variabilidad espacial del nutriente a estudiar en el lote o ambiente. En este sentido, la variabilidad es distinta para cada nutriente o variable a estudiar y, a su vez, difiere entre lotes o ambientes. Por una parte, en general, es mayor la variabilidad espacial observada para fósforo (P) (Anghinoni et al., 2003), que para nitrato (NO_3) y la de este mayor a la de carbono orgánico (Mallarino, 2001; Mallarino y Wittry, 2004). Por otra parte, la variabilidad espacial de nutrientes dentro de un lote puede provenir de efectos naturales o de efectos antrópicos.

La variabilidad natural generalmente ocurre a gran escala y es debida a diferentes factores como el tipo de suelo y material originario, la posición o elevación en el terreno (Franzen et al., 2006), áreas con alternancia de anegamiento, etc. Como tal, es factible conocerla y reducir su impacto disminuyendo la variabilidad del resultado obtenido y separando entre zonas homogéneas (Franzen, 2008).

La variabilidad por manejo (antrópica) ocurre a gran y pequeña escala y es debida a aplicación previa de fertilizantes, la erosión, y cultivos antecesores, entre otros (Mallarino, 2013). En este sentido, se han documentado aumentos de la variabilidad por la aplicación de fertilizantes residuales y poco móviles en bandas (como los fosfatados), con mayor impacto en lotes bajo siembra directa debido a la ausencia de remoción y mezclado del suelo (Duiker y Beegle, 2006), y mayor aún con aumentos del espaciamiento entre líneas de siembra/fertilización (Anghinoni et al., 2003). A su vez, la variabilidad espacial del Pe (P extractable) de la capa superficial aumenta a medida que aumenta la fertilidad del lote, siendo aún mayor en lotes con más años de agricultura (Mallarino et al., 2006). También existe una acción antrópica que genera variabilidad dentro del área estudiada como las zonas donde se removieron antiguas construcciones, aguadas, montes de sombra o reparo para animales, corrales de encierre, re-apotreramientos, etc. (West et al., 1989; Díaz-Zorita et al., 1998; Gutiérrez-Boem y Marasas, 2005).

La variabilidad suele estar representada por una gran frecuencia de valores (puntos en el terreno) bajos y algunos pocos valores altos, principalmente para el caso de nutrientes poco móviles como el P (i.e.: distribución sesgada o asimétrica, no normal). Esta particular distribución de variabilidad hace que el promedio sea superior al valor más frecuente o mediana. En la mayoría de los casos, la muestra enviada a laboratorio proviene de recolectar y mezclar un determinado número de sub-muestras ("piques") de un mismo lote o ambiente con lo cual todo resultado obtenido de esta muestra representa al promedio de las sub-muestras. Considerando esto, en general, el valor obtenido será superior a la mediana (o valor más frecuente) del lote en estudio (Gutiérrez-Boem y Marasas, 2005; Roberts y Henry, 2001).

Las tecnologías de producción (siembra directa y fertilización en bandas) y la intensificación del agro aplicadas desde hace más de dos décadas en la mayoría de los lotes de la región pampeana argentina, han tenido un gran impacto en la variabilidad y distribución de nutrientes en el espacio, principalmente para nutrientes poco móviles como el P (Duiker y Beegle, 2006). Esto, sumado a la existencia de variabilidad natural, hace

[1] **Laboratorio y Servicios Agropecuarios Marasas+Asociados. Buchardo 365, Lincoln, Buenos Aires, Argentina http://www.laboratoriomarasas.com.ar**

* **Autor de contacto. Correo electrónico: rcarrete@agro.uba.ar**

necesario conocer las distintas metodologías de muestreo de modo de elegir la más adecuada a cada situación o lote a evaluar. Por ejemplo, para reducir el impacto de líneas de fertilización de P del cultivo anterior, lo aconsejable es tratar de muestrear las líneas de fertilización/siembra de cultivos anteriores en una proporción representativa del área que ocupan tales líneas en el espacio (Ver sección Muestreo en bandas de fertilización fosfatada de cultivo anterior). En el caso de áreas cercanas a montes de reparo o aguadas, zonas donde antiguamente existía una aguada o un corral de encierre, o en áreas donde se hayan removido alambrados, la solución es tratar de detectar tales áreas y excluirlas del muestreo. Estas áreas pueden detectarse mediante la comparación de imágenes satelitales o fotos e imágenes aéreas viejas y nuevas (Chang et al., 2003). A su vez, incrementar el número de sub-muestras (por muestra compuesta) ayudará a reducir el impacto "distorsionante" de estas sub-muestras puntuales con altos valores.

Finalmente, es importante remarcar que, independientemente de la variabilidad, se suelen cometer los siguientes errores: i) no se toma una cantidad de sub-muestras adecuada, ii) no se mantiene la profundidad de muestreo entre las distintas sub-muestras, iii) no se homogeniza la muestra, iv) se muestrea muy cerca de los alambrados o montes, v) no se conservan adecuadamente las muestras hasta llegar al laboratorio; entre otros. Si bien existen metodologías alternativas y variantes, entre las principales pueden mencionarse las siguientes **(Figura 1)**:

- Al azar simple: Se toman sub-muestras al azar en diferentes puntos del lote que luego se juntan en una única muestra compuesta.
- Al azar estratificado (o por ambientes): Se separan los distintos ambientes o zonas de manejo dentro del lote y se genera una muestra compuesta para cada ambiente. Para la separación de ambientes se utilizan distintas "capas" de información (generalmente geo-referenciada): tipo de suelo, relieve, mapas de rendimiento, imágenes espectrales satelitales, foto-imágenes aéreas, etc.
- Estaciones (o zonas de referencia) simple: Solo se toman sub-muestras de distintos sectores

Tabla 1. Metodologías de muestreo de suelos.

Metodología	Distribución de sub-muestras	Cantidad de muestras compuestas	Cantidad de sub-muestras por muestra compuesta[a]
Al azar simple	Grilla sistemática, grilla aleatoria, zig-zag, transecta diagonal, diagonales cruzadas, etc.	1 por lote	Mínimo 25 a 50[b] (independientemente del tamaño del lote)
Al azar estratificado	Ídem a "Al azar simple" pero para cada ambiente	1 por ambiente	Mínimo 25[c] (independientemente del tamaño del ambiente)
Estaciones juntas simple	Estaciones de muestreo de 10-15 m de diámetro en zonas representativas del lote	1 por lote	Mínimo 4 estaciones para cada lote (8-12 sub-muestras en cada una)[d]
Estaciones individuales simple	Ídem a "Estaciones juntas simple"	1 por estación	Ídem a "Estaciones juntas simple"
Estaciones juntas estratificado	Ídem a "Estaciones simple" pero para cada ambiente	1 por ambiente	Mínimo 4 estaciones para cada ambiente (8-12 sub-muestras en cada una)[d]
Estaciones individuales estratificado	Ídem a "Estaciones juntas estratificado"	1 por estación	Ídem a "Estaciones juntas estratificado"
Grilla	Grilla punto: sub-muestras dentro de 5-10 m de radio alrededor de cada punto de la grilla – 1 a 2 punto por ha[d e].	1 por punto (o celda) de la grilla	Entre 8-12[d]
	Grilla celda: sub-muestras al azar dentro del área conformada por 4 puntos de la grilla. 1 a 2 celda por ha[d e].		

[a] *Para más detalle ver Sección 3: Número de sub-muestras*
[b] *El número de sub-muestras depende mucho del tipo de nutriente (siendo mayor el número necesario para obtener representatividad para P que para nitrato, por ejemplo) y, además de la variabilidad particular del lote en estudio (Alvarez et al., 2008)*
[c] *Se considera un número de sub-muestras necesario menor al método al azar simple dado que se muestrearían áreas con mayor homogeneidad (ambientes)*
[d] *Según Franzen y Cihacek (1998)*
[e] *Según (Mallarino, 2001)*

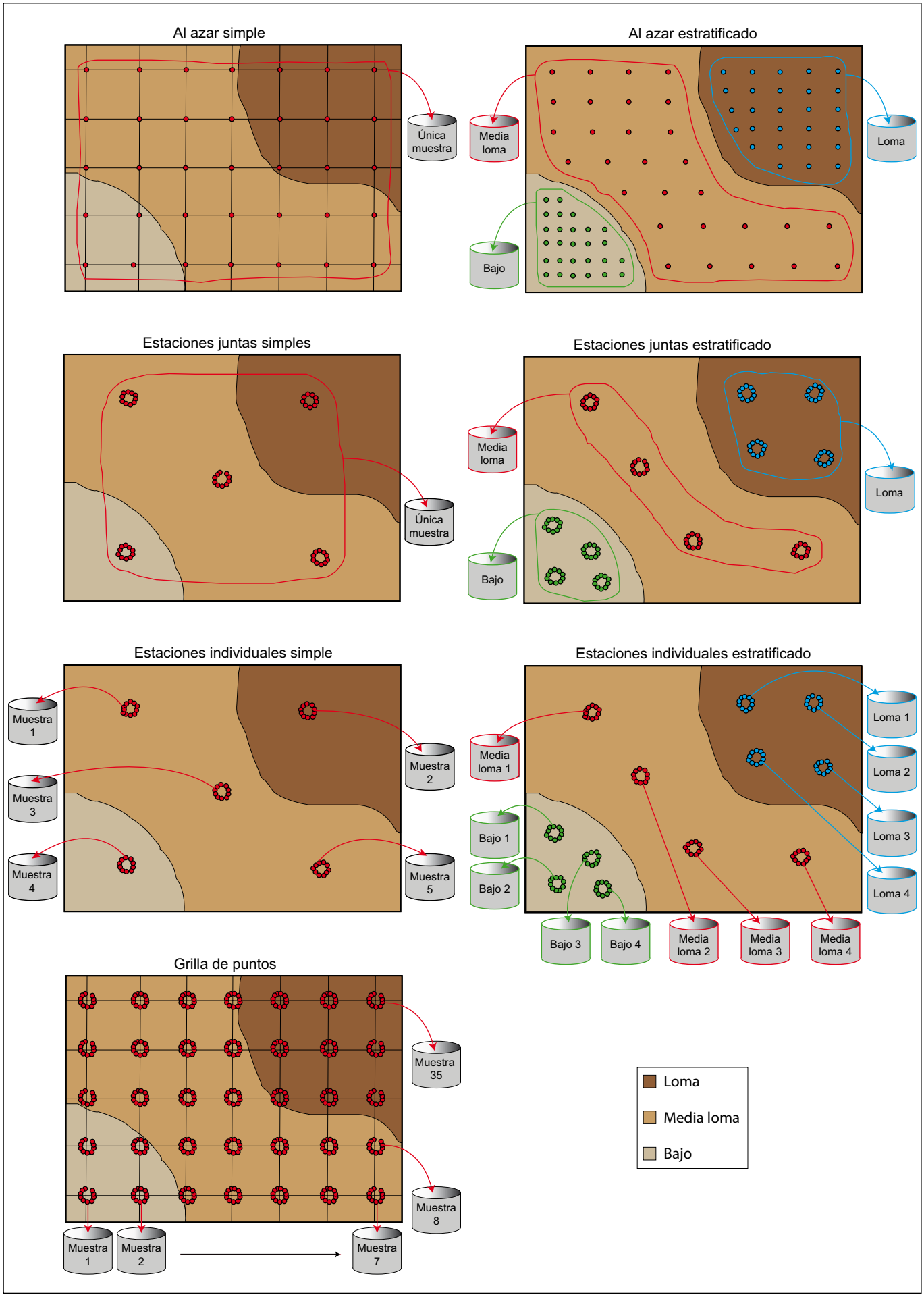


Figura 1. Esquemas de distintas metodologías de muestreo de suelo.

del lote (estaciones de muestreo), considerados representativos del mismo. En cada estación se toman varias sub-muestras.

- Estaciones juntas: Se juntan las sub-muestras de todas las estaciones para componer una única muestra del lote.
- Estaciones individuales: Se genera una muestra compuesta de cada estación.

- Estaciones estratificado: Se separan los distintos ambientes del mismo modo que lo indicado para el método "Al azar estratificado" y luego se procede de igual modo que el método "Estaciones simple".
  - Estaciones juntas: Se juntan las sub-muestras de todas las estaciones de un mismo ambiente para componer una única muestra para cada ambiente.
  - Estaciones individuales: Se genera una muestra compuesta de cada estación.
- Grilla de puntos y grilla de celdas: Se realiza una grilla de puntos (o de celdas) geo-posicionados y de cada uno de ellos se obtiene una muestra compuesta conformada por varias sub-muestras.

Las distintas metodologías mencionadas varían, principalmente, en la forma de distribuir las sub-muestras en el espacio, la cantidad de muestras compuestas a analizar de cada lote y la cantidad de sub-muestras que componen cada muestra compuesta **(Figura 1, Tabla 1)**. Dadas las características particulares de cada metodología y las diferencias entre estas características, cada metodología tiene beneficios y limitaciones, las más importantes pueden observarse en la **Tabla 2**.

El clásico muestreo al azar simple (sub-muestras al azar que componen una única muestra por lote) fue muy útil previo al uso masivo de la siembra directa y, principalmente, de la fertilización en bandas de nutrientes poco móviles como el P. De hecho, lo sigue siendo en aquellos lotes con poca variabilidad espacial de nutrientes, principalmente por su bajo costo. Sin embargo, dada la variabilidad espacial de nutrientes, sumadas al conocimiento cada vez mayor que se tiene de los lotes, nuevos métodos de muestreo y análisis de suelos pueden ser más útiles y precisos. Así, un muestreo al azar estratificado (o por ambientes) mediante el uso de información anexa (relieve, tipo de suelo, mapas de rendimiento, imágenes satelitales, zonas con anegamientos en campañas anteriores, uso previo de distintos cultivos en el mismo lote, etc.) puede ser de mucha utilidad al permitir conocer la variabilidad en lotes con claras diferencias de ambientes (Franzen et al., 2006), más aún si existe la posibilidad (maquinarias y operarios idóneos) de realizar aplicación variable de nutrientes.

Por otra parte, la utilización de Estaciones de muestreo (ya sea a nivel de lote o dentro de ambientes) permite excluir áreas no representativas del lote, trabajando con sectores geo-referenciados que permiten hacer comparaciones más precisas y válidas entre una campaña y otra. Además, de mantenerse separadas las muestras de cada estación se pueden tener una idea de la variabilidad (sin elevar demasiado los costos), pudiendo incluso descartar estaciones de las que se sospecha que hubo alguna contaminación con una sub-muestra de muy alto valor.

Por último, el muestreo en Grilla permitiría conocer con mucho detalle como varían los nutrientes en el lote (o ambiente) y/o poder descartar muestras que se estima que pudieron contaminarse con alguna sub-muestra de alto valor. Este método tiene un costo mayor dada la intensidad de muestreo y la cantidad de muestras a analizar. Sin embargo, una alternativa para nutrientes poco móviles y relativamente “residuales” como el P podría ser realizar muestreo en Grilla por única vez (o con una frecuencia de 5 años, por ejemplo) y luego, conocida la variabilidad, elegir el método alternativo de muestreo más adecuado.

Muestreo en bandas de fertilización fosfatada de cultivo anterior

Tal como fue comentado, dada la escasa movilidad y la residualidad del P en el suelo, al ser aplicado en bandas y en ausencia de remoción de suelo (i.e. siembra directa), genera gradientes horizontales de concentración. Se registran mayores concentraciones de P en el volumen de suelo circundante a la banda de aplicación disminuyendo de manera exponencial a medida que se alejan de ésta hasta alcanzar un mínimo en el espacio central entre dos bandas de aplicación, siendo esta caída más pronunciada cuanto mayor es la dosis de fertilizante aplicado (Kitchen et al., 1990; Duiker y Beegle, 2006). Esta variabilidad de la concentración de P en el espacio horizontal y a pequeña escala genera imprecisiones en los resultados de análisis de este nutriente.

Para disminuir tal impacto se han sugerido distintas alternativas de muestreo **(Tabla 3)**. De no poder identificarse la banda de fertilización del cultivo anterior, Kitchen et al. (1990) sugieren tomar sub-muestras apareadas en sentido perpendicular a las bandas, tomando la primera de estas sub-muestras de manera azarosa y la segunda a una distancia del 50% del espaciamiento entre bandas. Sin embargo, otros autores sostienen que, si el número de sub-muestras es adecuado, el muestreo al azar es suficiente para evitar la sobreestimación del resultado por el efecto de la banda (Tyler y Howard, 1991; citados por García y Picone, 2004). En este sentido, el error que se comete es mayor si se incluye de manera inadecuada que si se excluye el muestreo de la banda, con el agregado de que se estaría sub-estimando la necesidad de fertilización. Duiker y Beegle (2006), a pesar de observar mayor concentración de P sobre la banda de aplicación, sugieren no muestrear sobre dicha banda de cultivos anteriores para evitar sub-estimar las necesidades de fertilización.

Tabla 2. Beneficios y limitaciones de las principales metodologías de muestreo de suelos.

	Al azar simple	Al azar estratificado	Estaciones juntas simple	Estaciones individuales simple	Estaciones juntas estratificado	Estaciones individuales estratificado	Grilla
Costo de planificación de muestreo (1 = menor costo)	1	2	1	1	2	2	2
Costo de muestreo	1	2	1	1	2	2	3
Costo de análisis	1	2	1	3	2	4	5
¿Requiere contar con información y trabajo previo de oficina?	Solo si se quiere geo-localizar los puntos previo al muestreo	Si: identificación de ambientes y geolocalización de puntos de grillas	Solo si se quiere geo-localizar las estaciones previo al muestreo	Idem "Estaciones juntas simple"	Si: identificación de ambientes y geolocalización de estaciones	Si: identificación de ambientes y geolocalización de estaciones	Si: geo-localización de puntos de grilla
¿Permite conocer variabilidad espacial?	no	si, entre ambientes	no	si (solo a nivel de lote)	si, entre ambientes	si, entre ambientes y dentro de cada ambiente	si, en detalle para el lote y para ambientes
¿Permite realizar aplicaciones variables de nutrientes?	no	si	no	no	si	si	si
¿Se puede eliminar o diluir el impacto de puntos con valores extremos de pequeña escala como líneas de fertilización de cultivos anteriores, bosteos de animales, etc?	Incrementando la cantidad de sub-muestras	Incrementando la cantidad de sub-muestras	En cada estación se toman varias sub-muestras lo cual ayuda a diluir cualquier punto "contaminado"	Idem "Estaciones juntas simples" y además, al contar con un dato de cada estación se puede detectar si algúna se contaminó	Idem "Estaciones juntas simple"	Idem "Estaciones individuales simple"	En cada punto se toman varias sub-muestras lo cual ayuda a diluir cualquier contaminación. Al contar con un dato de cada punto podría detectarse si algúno se contaminó
¿Se pueden evitar zonas con valores extremos como cercanias a alambrados, montes de reparo, aguadas, etc?	Se debe estar muy atento	Se debe estar muy atento	Es más probable evitarlas que en métodos al azar dado que se eligen solo zonas de referencia	Idem "Estaciones juntas simples" y además, al contar con un dato de cada estación se puede detectar si algúna se contaminó	Idem "Estaciones juntas simple"	Idem "Estaciones individuales simple"	Si bien estas zonas son probables de capturar con el muestreo luego podrán identificarse dado que se cuenta con un dato de cada punto
Observaciones			• Existe el riesgo de que las estaciones elegidas no sean representativas	• Dado que de cada estación se obtiene una muestra compuesta es factible georeferenciarla para realizar su seguimiento en el tiempo	• Idem "Estaciones juntas simple	• Ídem "Estaciones individuales simple"	• Dado que de cada punto se obtiene una muestra compuesta es factible georeferenciarla para realizar su seguimiento en el tiempo • Permite realizar un mapa del nutriente en estudio mediante interpolación geo-estadística. • Muy útil cuando no se tiene ningún tipo de información anexa que pueda indicar variabilidad

Tabla 3. Cantidad recomendada de sub-muestras de la entre-banda por cada sub-muestra de banda para distintos distanciamientos.

Distancia entre bandas (cm)	Cantidad de sub-muestras en entre-banda por cada sub-muestra en la banda	Referencia
30	8	Kitchen et al., 1990
76	20	
17.5 a 19	3	Comisión de Fertilidad de Suelos RS SC (1997) (citada por García y Picone, 2004)
38 a 40	7	
60-80	13	

Número de sub-muestras

La calidad de un muestreo suele evaluarse mediante los parámetros de precisión y exactitud. La precisión indica cuán repetible es el resultado obtenido, mientras que la exactitud indica que tan alejado está el valor encontrado del valor real (Johnson et al., 1983; Swenson et al., 1984). Así, en términos estadísticos, una precisión del 80% y una exactitud del 20% indican que 8 de cada 10 veces que se repita el proceso de muestreo y análisis, el valor encontrado estará dentro de un rango de variación del 20% del valor real.

La cantidad de sub-muestras necesarias para poder estimar con una determinada precisión y exactitud el valor de un nutriente depende fuertemente de la variabilidad de ese nutriente dentro del área que se pretende representar (lote, ambiente, estación o punto de una grilla). Debido a ello, cuanto más homogénea (menos variable) sea el área a representar, menor será la cantidad de sub-muestras a recolectar necesarias para lograr un mismo nivel de precisión y exactitud. Por este motivo, al utilizar métodos de muestreo que se basen en identificar y separar áreas homogéneas dentro del lote (ambientes, zonas o incluso estaciones) es esperable que se necesiten menor cantidad de sub-muestras (por muestra compuesta) para un mismo nivel de precisión y exactitud pretendidos o, dicho de otro modo, que para un mismo número de sub-muestras se incremente el nivel de precisión y exactitud.

La cantidad de sub-muestras necesarias para lograr un determinado nivel de precisión y exactitud se incrementa de manera exponencial a medida que se incrementa la variabilidad **(Figura 2)**. Sin embargo, si la exactitud pretendida no es muy "estricta" (i.e. 20%), y para niveles de precisión de hasta 90%, esta podría alcanzarse con 20 sub-muestras aún en lotes con niveles de variabilidad importante (CV mayor a 55%). Contrariamente, si el nivel de exactitud pretendida es mayor (i.e. 10%), la cantidad de sub-muestras necesarias se incrementa de manera importante, siendo de 50 y 80 sub-muestras para precisiones de 80% y 90%, respectivamente (considerando un CV del 55%).

Actualmente, es frecuente encontrar lotes con niveles de variabilidad entre sub-muestras que superan un CV del 50% (datos propios no mostrados; Alvarez et al., 2008). Incluso, si no se extreman los cuidados durante el muestreo como evitar muestrear en las cercanías de alambrados, cabeceras, aguadas o lugares de reparo, o si con alguna de las sub-muestras se captura un punto sobre fertilizado del cultivo anterior, los niveles de CV pueden superar ampliamente un valor de 100%. Por ello, vuelve a remarcarse la ventaja de identificar y separar áreas homogéneas (ambientes o zonas) o bien realizar el muestreo en zonas representativas (ejemplo estaciones) con el objetivo de disminuir la variabilidad e incrementar los niveles de precisión y exactitud de los resultados del análisis (Ver sección de Metodologías de muestreo).

Profundidad

La profundidad a la cual deben extraerse las muestras depende de las características del nutriente o propiedad del suelo que se pretenda evaluar. Así, los nutrientes poco móviles como el P, la materia orgánica (MO), el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los micronutrientes suelen medirse a partir de muestreos de la capa superior del suelo (0-20 cm). Allí es donde ejercen su mayor efecto sobre el crecimiento del cultivo por ser la capa donde más se concentran (Jobbágy y Jackson, 2000; Jobbágy y Jackson, 2001) y donde se encuentra la

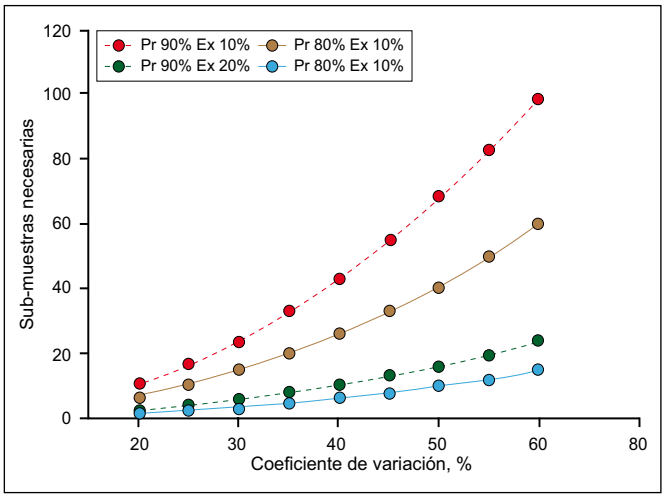


Figura 2. Cantidad de sub-muestras necesarias en función de la variabilidad de nutrientes dentro del área a representar, expresada como coeficiente de variación (%). Las curvas indican distintos niveles de precisión (Pr) y exactitud (Ex). Cálculos basados en Anghinoni et al. (2003).

mayor proporción de raíces de la mayoría de los cultivos de grano (Costa et al., 2010; Farmaha et al., 2012; Kirby, 2002).

Por su parte, nutrientes como el nitrógeno (N) de nitrato y, en menor grado, el azufre (S) de sulfato, que presentan mayor movilidad en el suelo, pueden alcanzar capas más profundas y las raíces de los cultivos allí presentes pueden tomarlos. Por ello, en general, se recomienda conocer la disponibilidad de estos nutrientes en 0-60 cm. Ello puede lograrse muestreando tres capas de 20 cm cada una, dos de 30 cm o directamente una de 60 cm. En este sentido, es importante notar que el muestreo de distintas capas puede generar errores debido a posible mezcla de capas al desmoronarse el orificio de muestreo o arrastrar suelo con el barreno a medida que se avanza en profundidad. Por ello, será necesario retirar cualquier resto de suelo o residuo que pudiera caer en el orificio de muestreo de modo de evitar contaminar la muestra de la capa que sigue. Una alternativa es muestrear una capa superior y luego a partir de la concentración de nitrato o sulfato presente en esta capa estimar, con cierto grado de precisión, la concentración hasta capas más profundas **(Figura 3)**. Al ajustar regresiones a los datos de la **Figura 3** surgen las siguientes ecuaciones que permitirían estimar el nivel de N-nitrato de 0-60 cm a partir de mediciones realizadas en capas superficiales:

Ec. 1: N-nitrato (0-60 cm) = N-nitrato (0-20 cm) ∗ 2.04 $R^2 = 0.86$

Ec. 2: N-nitrato (0-60 cm) = N-nitrato (0-40 cm) ∗ 1.24 $R^2 = 0.98$

Estas ecuaciones tienen validez para los suelos de la zona de donde provienen las muestras que originaron la información de la **Figura 3** (Noroeste de Buenos Aries, noreste de La Pampa y suroeste de Córdoba, Argentina). Es importante considerar los eventos de lluvias en las semanas previas a los muestreos, ya que precipitaciones abundantes en días previos pueden mover el nitrato o sulfato por debajo de los 20 cm por lo cual se puede subestimar la disponibilidad de N y/o S.

Para el caso de mediciones de disponibilidad de nutrientes con objetivos de recomendación de fertilización, la profundidad de muestreo deberá ser la que se utilizó para calibrar el modelo que se utilizará para realizar la recomendación. Es decir, por ejemplo, para el caso del P la gran mayoría de los modelos de respuesta utilizados en la región pampeana argentina están calibrados considerando muestreos de 0-20 cm mientras que para N-nitrato están calibrados para disponibilidades de 0-60 cm (a lo que se adiciona el N de fertilizante). Si bien estos modelos son los más utilizados existen otros modelos de recomendación (alternativos y complementarios), principalmente en lo relativo a fertilización nitrogenada (García, 2005).

Finalmente, un punto importante a remarcar es que la intensificación en la fertilización con P de las últimas décadas, sumado a la siembra directa (poco a nulo

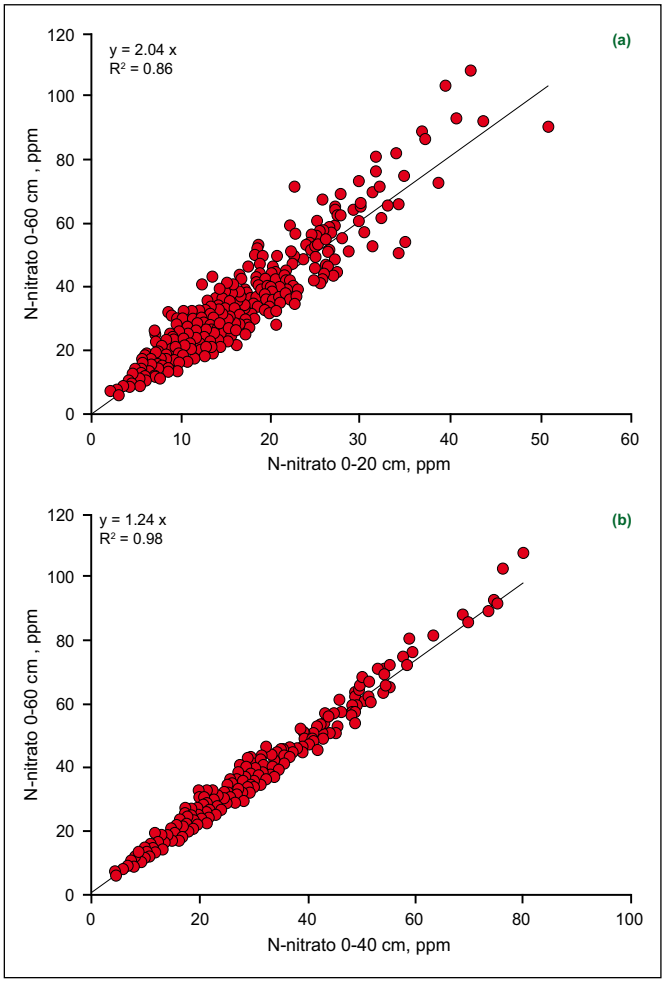


Figura 3. Relaciones entre contenido de N-nitrato en 0-60 cm y a) N-nitrato en 0-20 cm o; b) N-nitrato en 0-40 cm. Datos de análisis realizados en el laboratorio Marasas & Asociados provenientes de las campañas 2013-14 y 2014-15. Cantidad de pares de datos = 670. Muestras provenientes de Noroeste de Buenos Aries, Noreste de La Pampa y Suroeste de Córdoba, Argentina.

mezclado de suelo), ha generado una estratificación vertical de este nutriente (García y Picone, 2004; Bullock, 2005; Duiker y Beegle, 2006; Costa et al., 2010). Sin embargo, modelos de respuesta a fertilización que consideran muestreos de 0-20 cm de lotes en siembra directa, tienen similares niveles críticos de P (nivel por debajo del cual sería conveniente aplicar fertilizante) a aquellos encontrados antiguamente para labranza convencional, según lo demuestran distintos trabajos (García y Picone, 2004 y trabajos citados por éste). Por otro lado, esta estratificación vertical del P determina que se deba prestar especial cuidado a mantener constante la profundidad de muestreo. Muestrear solo unos cm menos que los recomendados (ejemplo 0-18 cm) genera riesgos de sobre-estimación de la concentración del nutriente, mientras que si se muestrea mayor profundidad (ejemplo 0-22 cm) ocurrirá lo contrario al incluir capas inferiores con menor concentración de P.

Época y frecuencia

La época y frecuencia de muestreo dependen de la movilidad y/o estabilidad en el tiempo del nutriente (o

parámetro a evaluar) (Roberts y Henry, 2001) y de la fuente de dónde provienen dado que determina la tasa con que se transforman en disponible para los cultivos. El N-nitrato y el S-sulfato son "móviles" y por esto son más propensos a lixiviarse con el agua de lluvia. Por otro lado, provienen principalmente de la mineralización de la MO con lo cual su disponibilidad varía de acuerdo con las condiciones ambientales que afectan tal mineralización (humedad y temperatura, principalmente). A su vez, el cultivo previo y su nivel de rendimiento pueden afectar marcadamente la concentración de nitrato y sulfato en el suelo a través de su tasa de consumo. Estas cuestiones hacen que los niveles de N-nitrato y S-sulfato cambien de manera marcada a lo largo del año y entre años. Por todo esto, se recomienda muestrear lo más próximo al momento de siembra. Por otra parte, si bien existen distintos modelos de recomendación de fertilización (Garcia, 2005), la mayoría de los utilizados en la región pampeana (Rendimiento vs. N del suelo + N del fertilizante) se basan en mediciones de disponibilidad realizadas inmediatamente antes de la siembra. Por ello, de utilizar tales modelos, se estaría sub-estimando la disponibilidad de N si se muestrea mucho antes de la siembra, mientras que muestrear luego de la siembra sobre-estimaría tal disponibilidad.

Para nutrientes menos "móviles" y más "estables" como el P o parámetros más "estables" como la MO, la CIC, la textura y el pH, no es tan importante la época del año en que se muestrea. Sin embargo, aunque el P es más "estable" que el nitrato o el sulfato, existen trabajos que demuestran una cierta variabilidad estacional de este nutriente (Giuffre et al., 1995; Vázquez, 1986). Por ello, es recomendable muestrear siempre durante el mismo momento cada vez que se lleve a cabo tal tarea, especialmente en el caso de realizar un seguimiento a través de las campañas. Por otra parte, para determinar P, MO, CIC y/o pH, dada su condición de relativa estabilidad en el tiempo (respecto de nitrato y sulfato), no es necesaria una frecuencia de muestreo anual excepto que se pretenda evaluar el impacto de, por ejemplo, la fertilización fosfatada en el balance de P. En general, una alternativa muy utilizada es muestrear para análisis de P solamente previo a la siembra de cada cultivo de gramínea en la rotación, dado que son los cultivos que más responden a la fertilización con este nutriente. Asimismo, la poca variación en el corto plazo facilita elegir con mayor tranquilidad el momento oportuno de muestreo. Esto permite evitar muestrear con condiciones de saturación hídrica de suelo o luego de una reciente fertilización y hacerlo con el tiempo adecuado para remitir las muestras al laboratorio y tener los resultados en tiempo y forma.

Por último, y no menos importante, considerar que de ocurrir un evento de lluvia es recomendable muestrear al menos 48 horas luego de ocurrido el mismo.

Extracción y acondicionamiento de la muestra

La extracción de cada sub-muestra debe realizarse preferentemente con barreno de acero inoxidable, limpio y sin herrumbres. Esta herramienta debe estar debidamente afilada de modo que permita producir una muestra uniforme a lo largo de la sección de corte, sin comprimir el suelo ni muestrear distintas cantidades de distintas profundidades. Existen distintos tipos de barrenos, siendo los más comunes (**Figura 4):**

- Tubular media caña: el más utilizado en la mayoría de los suelos de la región pampeana. Permite un mínimo de alteración de la muestra y un corte uniforme a lo largo de toda la profundidad muestreada. No es recomendable o es poco útil en suelos duros o con presencia de piedras o tosquilla.
- Helicoidal o tipo holandés: varía su configuración según el tipo de suelo a muestrear. Si bien permite menor esfuerzo en suelos duros o con presencia de piedras produce un mayor disturbio y mezclado de la muestra (muestreo menos uniforme).
- Riverside: recomendado para suelos duros y/o con presencia de piedras.

Si bien el barreno (distintos tipos) es la herramienta más frecuentemente utilizada en la región pampeana, algunos trabajos sugieren el uso de pala de corte, la cual permitiría tomar mayor cantidad de suelo por cada sub-muestra y disminuir la cantidad de sub-muestras a recolectar para cada muestra compuesta (Anghinoni et al., 2003). Para muestrear con pala de corte se deberá cavar y vaciar un pozo hasta la profundidad que se pretende muestrear **(Figura 5)** y para cada sub-muestra. Luego se deberá sacar una rebanada de aproximadamente 3 cm de espesor y de esta rebanada quedarse solo con el tercio del centro.

Debe prestarse especial atención y colocar cada sub-muestra en el recipiente (o bolsa) correspondiente a la muestra compuesta que se está generando. Este recipiente debe estar debidamente identificado con al menos la siguiente información: i) establecimiento, ii) lote, iii) ambiente (si existiera), iv) geo-referencia (si se tomó), v) profundidad muestreada, y vi) nutrientes o parámetros a analizar.

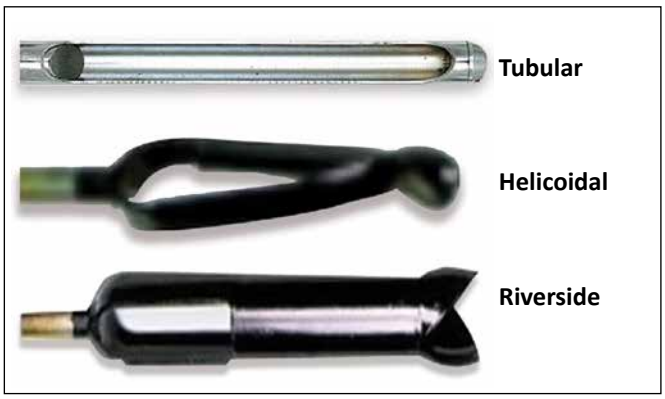


Figura 4. Tipos de barrenos para muestreo de suelo.

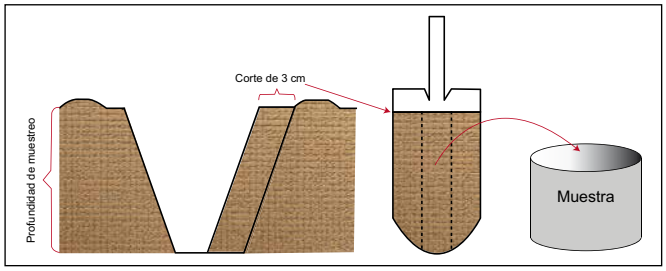


Figura 5. Esquema de forma de muestreo con pala de corte.

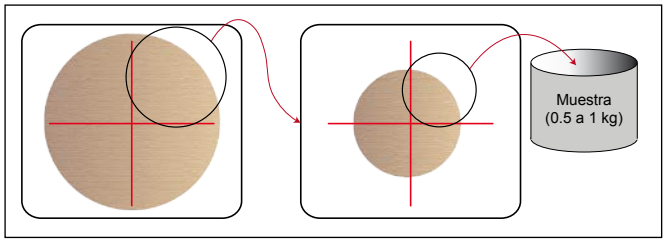


Figura 6. Esquema de método de cuarteo y reducción de muestra.

Una vez finalizada la recolección de cada muestra compuesta ser recomienda reducirla hasta alcanzar 0.5 a 1 kg en caso de que supere tal cantidad. Para ello, y para mantener la representatividad, es *muy importante* primero desterronar y mezclar adecuadamente la totalidad de la muestra obtenida. Luego, proceder a reducir el tamaño de la muestra mediante cuarteos. Esto es, esparcir la muestra sobre una lona plástica limpia y dividirla en cuatro partes iguales. De estas partes se selecciona solo una y se repite el proceso de ser necesario. Este proceso de homogenización y reducción es crítico ya que determina fuertemente la representatividad de la muestra obtenida. Por ello, de no poder realizarlo a conciencia se recomienda enviar la muestra completa al laboratorio.

Una vez lograda cada muestra compuesta se deberá almacenar en bolsa plástica resistente (o doble bolsa) y limpia, debidamente rotulada con, al menos, la información citada anteriormente. Para la rotulación se deberá utilizar marcador resistente al agua y en caso de rotular en papel, no poner el papel en contacto con el suelo muestreado. Una vez listas las muestras deberán conservarse en lugar fresco (preferentemente en conservadora a menos de 20°C) y sin exposición al sol para enviar lo antes posible al laboratorio. De contener, el suelo muestreado, demasiada humedad o de demorarse el envío al laboratorio se recomienda orear el suelo al aire en lugar *fresco y no expuesto al sol*. Una vez secas volver a colocar cada muestra en su respectiva bolsa cerrada lo más herméticamente posible. Conservar en frío o desecar al aire evitará reacciones químicas o biológicas que ocurren en un suelo disturbado, las cuales afectaran los resultados del análisis. De todos modos, lo recomendable es enviar las muestras al laboratorio lo antes posible, lo cual minimizará la ocurrencia de cualquier cambio químico en la muestra obtenida.

Bibliografía

Álvarez, R., H.S. Steinbach, B. Bauschen, y J.N. Enjalbert. 2008. ¿Cuántas submuestras de suelo hay que tomar para caracterizar la fertilidad de un lote en la Pampa Ondulada? Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 37:17-19.

Anghinoni, I., J. Schlindwein, y M. Nicolodi. 2003. Manejo del fósforo en siembra directa en el sur de Brasil: Variabilidad de fósforo y muestreo de suelo, El fósforo en la agricultura argentina, INPOFOS, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. pp. 20-26.

Bullock, D. 2005. Efecto del muestreo en la precisión exactitud del análisis de suelos bajo condiciones de siembra directa. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 56:3-5.

Cline, M.G. 1944. Principles of soil sampling. Soil Science 58:275-288.

Costa, S.E.V.G.A., E.D. Souza, I. Anghinoni, J.P.C. Flores, F.C.B. Vieira, A.P. Martins, y E.V.O. Ferreira. 2010. Patterns in phosphorus and corn root distribution and yield in long-term tillage systems with fertilizer application. Soil and Tillage Research 109:41-49. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2010.04.003.

Chang, J., D.E. Clay, C.G. Carlson, S.A. Clay, D.D. Malo, R. Berg, J. Kleinjan, y W. Wiebold. 2003. Different techniques to identify management zones impact nitrogen and phosphorus sampling variability. Agronomy Journal 95:1550-1559. DOI: 10.2134/agronj2003.1550.

Díaz-Zorita M., Duarte G., Grosso G. 1998. Soil fertility distribution in livestock production systems with pastures directly grazed, 4th Conference on Precision Agriculture, Minnesotta, USA.

Duiker, S.W., y D.B. Beegle. 2006. Soil fertility distributions in long-term no-till, chisel/disk and moldboard plow/disk systems. Soil and Tillage Research 88:30-41. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.04.004

Farmaha, B.S., F.G. Fernández, y E.D. Nafziger. 2012. Distribution of soybean roots, soil water, phosphorus and potassium concentrations with broadcast and subsurface-band fertilization. Soil Science Society of America Journal 76:1079-1089. DOI: 10.2136/sssaj2011.0202.

Franzen, D.W. 2008. Developing zone soil sampling maps, NDSU Extension Service.

Franzen, D.W., y L.J. Cihacek. 1998. Soil sampling as a basis for fertilizer application, NDSU Extension Service.

Franzen, D.W., T. Nanna, y W.A. Norvell. 2006. A survey of soil attributes in North Dakota by landscape position. Agronomy Journal 98:1015-1022. DOI: 10.2134/agronj2005.0283.

García, F.O. 2005. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. INPOFOS/PPI/PPIC Cono Sur.

García, F.O., y L.I. Picone. 2004. Fósforo: Dinámica y manejo en sistemas de siembra directa. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 56:3-5.

Giuffre, L., O. Heredia, N. Arrigo, M. Conti, y J. Storti. 1995. Variación espacial y temporal del fosforo extractable en un ciclo de maíz sembrado bajo dos sistemas de labranza: convencional y directo. Agronomía Costarricense 19:57-60.

Gutiérrez-Boem, F.H., y P.A. Marasas. 2005. Pequeñas zonas con altas concentraciones de fósforo causan grandes errores en la determinación de fósforo disponible a nivel de lote. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 25:9-11.

Jobbágy, E., y R. Jackson. 2001. The distribution of soil nutrients with depth: Global patterns and the imprint of plants. Biogeochemistry 53:51-77. DOI: 10.1023/a:1010760720215.

Jobbágy, E.G., y R.B. Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecological Applications 10:423-436. DOI: 10.1890/1051-0761(2000)010[0423:tvdoso]2.0.co;2.

Johnson, A., L.J. Swenson, y W.C. Dahnke. 1983. The soil testing program in North Dakota. ND Farm Research 41:24-26.

Kirby, E.J.M. 2002. Botany of the wheat plant, in: B. C. Curtis, et al. (Eds.), Bread wheat: Improvement and production, FAO, Rome.

Kitchen, N.R., D.G. Westfall, J.L. Havlin. 1990. Soil sampling under no-till banded phosphorus. Soil Science Society of America Journal 54:1661-1665. DOI: 10.2136/sssaj1990.03615995005400060026x.

Mallarino, A.P. 2001. Manejo de nutrientes sitio-específico con énfasis en el muestreo de suelos y la fertilización variable con fósforo y potasio., Tercera Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilidad 2001", INPOFOS, Acassuso, Buenos Aires, Argentina. pp. 8-12.

Mallarino, A.P. 2013. Manejo de fósforo y potasio con técnicas de agricultura de precisión. IPNI LACS.

Mallarino, A.P., D.B. Beegle, B.C. Joern. 2006. Soil sampling methods for phosphorus-spatial concerns, Southern Education Research Activities (SERA) 17, United States Department of Agriculture.

Mallarino, A.P., y D.J. Wittry. 2004. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. Precision Agriculture 5:131-144. DOI: 10.1023/B:PRAG.0000022358.24102.1b.

Roberts, T.L., y J.L. Henry J.L. 2001. El muestreo de suelos: Los beneficios de un buen trabajo. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 42:4-12.

Swenson, L.J., W.C. Dahnke, D.D. Patterson. 1984. Sampling for soil testing. NDSU, Dept. of Soil Sci., Res. Report No. 8.

Tyler, D.D., y D.D. Howard. 1991. Soil sampling patterns for assessing no-tillage fertilization techniques. J. Fert. Issues 8:52-56.

Vázquez, M. 1986. Evolución estacional del P extractable del suelo en agroecosistemas de la provincia de Buenos Aires. Ciencia del Suelo 4:7-14.

West, C.P., A.P. Mallarino, W.F. Wedin, y D.B. Marx. 1989. Spatial variability of soil chemical properties in grazed pastures. Soil Science Society of America Journal 53:784-789. DOI: 10.2136/sssaj1989.03615995005300030026x.

TIPS PARA TENER A MANO ANTES Y DURANTE EL MUESTREO

1. Frecuencia de muestreo

- N-nitrato y S-sulfato: previo a cada cultivo que requiera aplicación de nitrógeno o azufre.
- MO, P, pH, CIC, bases y micronutrientes: no es necesaria una frecuencia de muestreo anual excepto que se pretenda evaluar el impacto de alguna media correctiva, por ejemplo, fertilización fosfatada o encalado.
- Sugerencia 1: para análisis de P muestrear solamente previo a la siembra de cada cultivo de gramínea en la rotación, dado que son los cultivos que más responden a la fertilización con este nutriente.
- Sugerencia 2: muestrear para análisis de P cada 3 a 5 años pero con mayor intensidad de muestras por lote (por ejemplo muestreo en Estaciones individuales estratificado o mejor aún en Grilla de puntos o celdas).

2. Momento de muestreo:

- N-nitrato y S-sulfato: próximo al momento de siembra.
- MO, P, pH, CIC, bases y micronutrientes: no es tan determinante el momento. Se recomienda hacerlo siempre alrededor de la misma época cada vez que se realice.
- De ocurrir un evento de lluvia es recomendable muestrear al menos 48 horas luego de ocurrido el mismo.

3. Metodología de muestreo (utilizar información de la Tabla 2).

Pautas que pueden orientarnos:

- ¿Cuánto estoy dispuesto a invertir en costo de muestreo y análisis?

  Costo de *Al azar simple = Estaciones juntas simple < Estaciones individuales simple = Al azar estratificado = Estaciones juntas estratificado < Estaciones individuales estratificado << Grilla.*
- Dispongo de ambientación de mi lote o, no dispongo pero observo que el lote cuenta con distintos ambientes y voy a ambientarlo.
- Se recomienda muestreos *Estratificados* (azar o estaciones).
- Tengo posibilidad de realizar aplicación variable de nutrientes?

  Se recomienda verificar si en el lote se diferencian ambientes y de ser así ambientar y realizar muestreo *Estratificado* (azar o estaciones).

- El lote cuenta con varios años de aplicación de fertilizantes en bandas (fósforo) y/u observo mucha variación de los resultados de análisis de P entre un año y otro.

  Se recomienda muestrear en Estaciones y si es posible *Estaciones individuales* (una muestra por estación).

- Desconozco el lote por completo, tanto en historia de manejo como en ambientes.

  Se recomienda *Estaciones individuales* y de observarse distintos ambientes *Estaciones individuales estratificado.*

- Quiero conocer en detalle la variabilidad espacial de nutrientes poco móviles de mi lote (fósforo, potasio).

  Se recomienda *Grilla* de puntos o celdas.

4. Cantidad de sub-muestras a recolectar:

- Muestreos al azar: Nunca muestrear menos de 25 sub-muestras por cada muestra compuesta, aún en lotes pequeños.
- Muestreo por estaciones: Nunca muestrear menos de 8 sub-muestras por estación, en lo posible 12 o más.
- Muestreo en grilla de puntos o celdas: Nunca muestrear menos de 8 sub-muestras por punto o celda, en lo posible 12 o más.

5. Profundidades recomendadas:

- 0-20 cm: MO, P, pH, CIC, bases y micronutrientes.
- 0-60 cm: N-nitrato y S-sulfato (pueden estimarse los valores de 40-60 cm a partir de los resultados de 0-40 cm, ver Ecuación 2).

6. Recordar llevar al campo:

- GPS, de ser necesario.
- Barreno (debidamente afilado y sin herrumbes) o pala de corte.
- Recipientes contenedores en cantidad suficiente. Se recomienda contar con un balde plástico para cada profundidad de muestreo dentro de los cuales colocar las bolsas contenedoras de muestras debidamente etiquetadas.
- Bolsas etiquetadas en cantidad suficiente con la siguiente información: i) establecimiento, ii) lote, iii) ambiente (si existiera), iv) espacio para anotar geo-referencia (si se tomará), v) profundidad muestreada, vi) nutrientes o parámetros a analizar.

  Se recomienda etiquetar previo a ir al campo. De utilizar dos bolsas para cada muestra es útil colocar la etiqueta de papel entre ambas bolsas (evitará que entre en contacto directo con el suelo y se deteriore o borre). Utilizar lápiz o marcador resistente al agua.

- Se recomienda llevar conservadora con refrigerante para mantener temperatura de muestras en un nivel adecuado.

7. Extracción de sub-muestras:

- Con barreno o pala de corte (ver **Figuras 4 y 5**).
- Remover restos de material vegetal de la superficie del suelo.
- NO remover materia orgánica integrada al suelo.
- Es muy importante respetar la profundidad de muestreo durante la toma.
- Prestar especial atención y colocar cada sub-muestra en el recipiente correspondiente.

8. Acondicionamiento:

- De ser necesario reducir la muestra mediante cuarteo hasta 0.5 a 1 kg.
- Si se reduce la muestra es muy importante y crítico desterronar y mezclar muy bien.
- Conservar las muestras en lugar fresco, no expuesto al sol y enviar cuanto antes al laboratorio.
- De contener demasiada humedad o de demorarse el envío al laboratorio se recomienda orear el suelo al aire en lugar *fresco y no expuesto al sol*.

Respuesta de la caña de azúcar al silicio en dos suelos de la zona cañera de Guatemala

Ovidio Pérez[1], Fernando Hernández[1], Víctor Azañon[2], Cesar Martínez[2] y Rolando Duarte[3]

Se establecieron dos ensayos en diferentes suelos que fueron conducidos por tres años a partir del 2011 para determinar el efecto del silicio en el rendimiento de caña de azúcar y los efectos residuales. Uno de ellos fue establecido en un suelo Inceptisol arcilloso de finca Jabalí 3 del ingenio La Unión y el otro en un suelo Andisol franco de finca Concepción del ingenio Pantaleón. Se evaluaron cuatro dosis de silicio como silicato de Ca [$CaSiO_3$, (42% de SiO_2] (0, 0.5, 2 y 4 t ha^{-1}) y tres variedades de caña por sitio. Dos variedades fueron comunes en los dos sitios (CP72-2086 y CP88-1165) y las variedades Mex79-431 en Jabalí 3 y CP88-1508 en Concepción como tercera variedad. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar en arreglo de parcelas divididas con cuatro repeticiones. El $CaSiO_3$ fue aplicado en el fondo del surco al momento de la siembra en el año 2011 pero no fue aplicado los siguientes años para evaluar los efectos residuales en la producción. Los resultados indicaron efectos estadísticamente significativos del $CaSiO_3$ en el suelo Inceptisol arcilloso pero no en el suelo Andisol en donde no hubo respuesta. El efecto del $CaSiO_3$ incrementó el rendimiento de caña en forma directa y lineal en el suelo Inceptisol estimándose un incremento de 6 t ha^{-1} mas de caña por cada 1 t de $CaSiO_3$ aplicado en el periodo evaluado.

Introducción

Las gramíneas como la caña de azúcar son capaces de absorber grandes cantidades de silicio (Si) y responden a las aplicaciones de este elemento en términos de rendimiento de caña de azúcar especialmente en suelos bajos en silicio disponible. En países como Sudáfrica, Mauricio, Australia, Brasil, La Florida (EEUU) se han realizado estudios que demuestran los beneficios de las aplicaciones de sílice en el cultivo de caña de azúcar y su aplicación es una práctica comercial en suelos pobres en este elemento basado en análisis de suelo y planta (Meyer and Keeping, 2000; Korndorfer et al., 2002; Berthelsen et al., 2003).

El silicio se acumula principalmente en las paredes de las células de la epidermis de la planta constituyendo de esta manera una barrera mecánica contra el ataque de plagas como el barrenador y algunas enfermedades causadas por hongos. De la misma manera ayuda a fortalecer la estructura de la planta aumentando su resistencia al acame.

Las respuestas de rendimiento observadas a las aplicaciones de silicio son atribuidas a varios factores que benefician al cultivo. Los factores pueden ser abióticos y bióticos, entre los abióticos se pueden indicar la reducción de la toxicidad de hierro, aluminio y manganeso; la reducción de la fijación de fósforo del suelo; la regulación de la transpiración favoreciendo un uso mas eficiente del agua y plantas mas erectas favoreciendo una mayor fotosíntesis (Dayanandam et al., 1983). Los factores bióticos están relacionados con menores ataques de plagas y de enfermedades (Meyer y Keeping, 2000; Korndorfer et al., 2002).

Aunque la mayoría de experiencia con buenas respuestas a las aplicaciones de sílice que se indican en la literatura corresponden a suelos bastante meteorizados y bajos en silicio como los Oxisoles y Ultisoles o de suelos orgánicos como los de La Florida (EEUU) es importante saber que pasa en los suelos derivados de ceniza volcánica de formación reciente como los suelos de Guatemala teniendo en cuenta que el cultivo puede acumular grandes cantidades de este elemento, de tal manera que se plantea el presente trabajo con los objetivos siguientes.

Objetivos

Determinar el efecto del silicio como $CaSiO_3$ y su efecto residual en el rendimiento de variedades de caña en dos suelos de la zona cañera de Guatemala.

Determinar si existe alguna relación entre las aplicaciones de silicio y la incidencia del barrenador del tallo.

Metodología

Se establecieron dos ensayos en diferentes suelos que fueron conducidos por tres años a partir del 2011. Uno de ellos fue establecido en un suelo Inceptisol de finca Jabalí 3 del ingenio La Unión y el otro fue establecido en un suelo Andisol de finca Concepción del ingenio Pantaleón. Las principales características químicas y físicas de los dos sitios se presentan en la **Tabla 1**.

Se evaluaron dos factores, variedad de caña de azúcar y niveles de Si. Las variedades evaluadas fueron la CP72-2086 y CP88-1165 en los dos ensayos. Una tercera variedad, diferente en cada sitio fue evaluada, Mex79-431 y CP88-1508 en Jabalí 3 y Concepción respectivamente. Los niveles de silicio evaluados, incluyendo el testigo sin aplicación, fueron 0, 0.5, 2.0 y 4.0 t de $CaSiO_3$ ha^{-1}.

En ambos sitios el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. Las parcelas grandes fueron conformadas por las variedades mientras que los niveles de silicio fueron alojados en las parcelas pequeñas. La unidad experimental fue constituida por 5 surcos de 10 metros de largo con una distancia entre ellos de 1.5 metros.

[1] **Coordinador Programa de Agronomía y Técnico de Fertilización (CENGICAÑA)**
[2] **Departamento de Investigación Ingenio La Unión**
[3] **Departamento de Agronomía de Ingenio Pantaleón**

Tabla 1. Principales características de los suelos y propiedades físico-químicas de los sitios de estudio.

Sitio	Suelo	Si ($CaCl_2$ 0.01 mol l^{-1}) ppm	Textura	pH	MO %	P ppm	K	Ca	Mg
							---------- meq 100 g^{-1} ----------		
Jabalí 3, La Unión	Inceptisol	26.2	FAr	7.3	1.9	< 5	0.76	10.1	2.2
Concepción, Pantaleón	Andisol	50.2	F	5.9	4.6	< 5	1.3	7.8	1.7

Como fuente de silicio se utilizó $CaSiO_3$ (42% de SiO_2), aplicado en el fondo del surco al momento de la siembra en el año 2011. Los dos años siguientes no se hizo ninguna aplicación de $CaSiO_3$ pero se mantuvieron las parcelas manejadas de igual manera para evaluar el efecto residual de este material.

La fertilización base en el primer año consistió en la aplicación uniforme de 100 kg de N ha^{-1}, 80 kg de P_2O_5 ha^{-1} y 100 kg de K_2O ha^{-1} en todas las parcelas. El fósforo se aplicó en el fondo del surco al momento de la siembra utilizando fosfato mono-amónico (MAP, 10-50-0) como fuente. El nitrógeno y el potasio fueron aplicados entre los 45-60 días después de la siembra en banda e incorporados al suelo. En el segundo y tercer año solo se aplicó nitrógeno y fósforo en dosis de 120 y 40 kg ha^{-1} de N y P_2O_5 respectivamente.

El manejo de la plantación en cuanto a control de malezas, riego y otras labores se hicieron en forma uniforme en todo el ensayo de acuerdo con las prácticas comerciales de cada finca. El ensayo de Concepción no tuvo riego y los cortes fueron entre marzo y abril. En tanto que en Jabalí 3 las cosechas fueron realizadas entre enero y febrero con riego por mini aspersión.

A la edad de 6 meses en la plantía en el 2011 se tomaron muestras foliares en todas las unidades experimentales de los dos experimentos (hoja TVD, tercio medio sin la nervadura central) de 15 tallos seleccionados aleatoriamente de los tres surcos centrales de cada parcela. Las muestras fueron secadas, molidas y tamizadas en el laboratorio agronómico de Cengicaña y posteriormente enviadas al laboratorio de la Universidad Federal de Uberlandia de Brasil para determinación de silicio en la hoja al igual que las muestras de suelo tomadas previo al establecimiento de los ensayos.

Previo a la cosecha se tomaron muestras de tallos molederos en todas las unidades experimentales para determinar el porcentaje de sacarosa y otros parámetros de calidad.

Al momento de cosecha se realizaron muestreos de tallos para cuantificar el daño por barrenador muestreando 20 tallos en cada parcela, se contó la cantidad de tallos dañados, luego se contó el número total de entrenudos de la muestra y se contaron los entrenudos dañados. Con esta información se estimó el porcentaje de infestación y el porcentaje de intensidad de infestación según la metodología empleada y recomendada por el Área de Entomología de Cengicaña. Se cortaron y pesaron la totalidad de los tallos producidos en cada unidad experimental con lo cual se obtuvo el rendimiento de caña expresado en toneladas métricas por hectárea.

Resultados y discusión

Rendimiento de caña de azúcar

Los análisis de varianza combinado de tres años por localidad indicaron efectos estadísticamente significativos del $CaSiO_3$ en el sitio de Jabalí 3 ($p < 0.01$) pero no así para el sitio de Concepción en donde no hubo respuesta en los tres años. En ambos casos, el efecto de $CaSiO_3$ fue independiente de la variedad de caña y no se encontró efecto de los diferentes años en la respuesta al sílice. Por otra parte en cuanto al contenido de azúcar, los análisis indicaron que no hubieron efectos significativos del sílice en esta variable en ninguno de los sitios.

En la **Figura 1** se presenta la respuesta observada y la tendencia de respuesta a las aplicaciones del $CaSiO_3$ para cada ciclo de evaluación (2012-2014) para Jabalí 3 y para Concepción.

En la **Figura 1a** se observa que en el suelo arcilloso de finca Jabalí 3 el $CaSiO_3$ incrementó el rendimiento de caña en forma directa y lineal a las dosis aplicadas y este efecto fue consistente en los tres años de la evaluación, aunque la magnitud del efecto fue mayor en primera soca y menor en plantía según las pendientes de las regresiones lineales estimadas. Los efectos en los dos años de caña soca se refieren a efectos residuales del $CaSiO_3$ ya que el mismo solo fue aplicado el primer año. Por el contrario, es evidente que en el suelo Andisol de finca Concepción la respuesta al $CaSiO_3$ fue nula como se puede apreciar en la **Figura 1b** y como fue verificado con el análisis de varianza combinado para este sitio.

El suelo de Jabalí 3 es un Inceptisol característico de la zona cañera con textura arcillosa y bajo contenido de materia orgánica (MO) con pH neutro, contrastando con el suelo Andisol de formación reciente de finca Concepción con textura franca y con alto contenido de MO. El contenido de silicio en el suelo extraído con $CaCl_2$ 0.01 m l^{-1} en Jabalí 3 era de 26.8 ppm, mientras que para Concepción era de 50.2 ppm, prácticamente el doble que el sitio en donde hubo respuesta. Korndorfer et al., 1999, reportan como valor crítico de referencia para el silicio extraído con $CaCl_2$ 0.01 m l^{-1}, el valor de 6-8 ppm. Por lo que los valores de silicio en los dos suelos del estudio estaban por arriba de

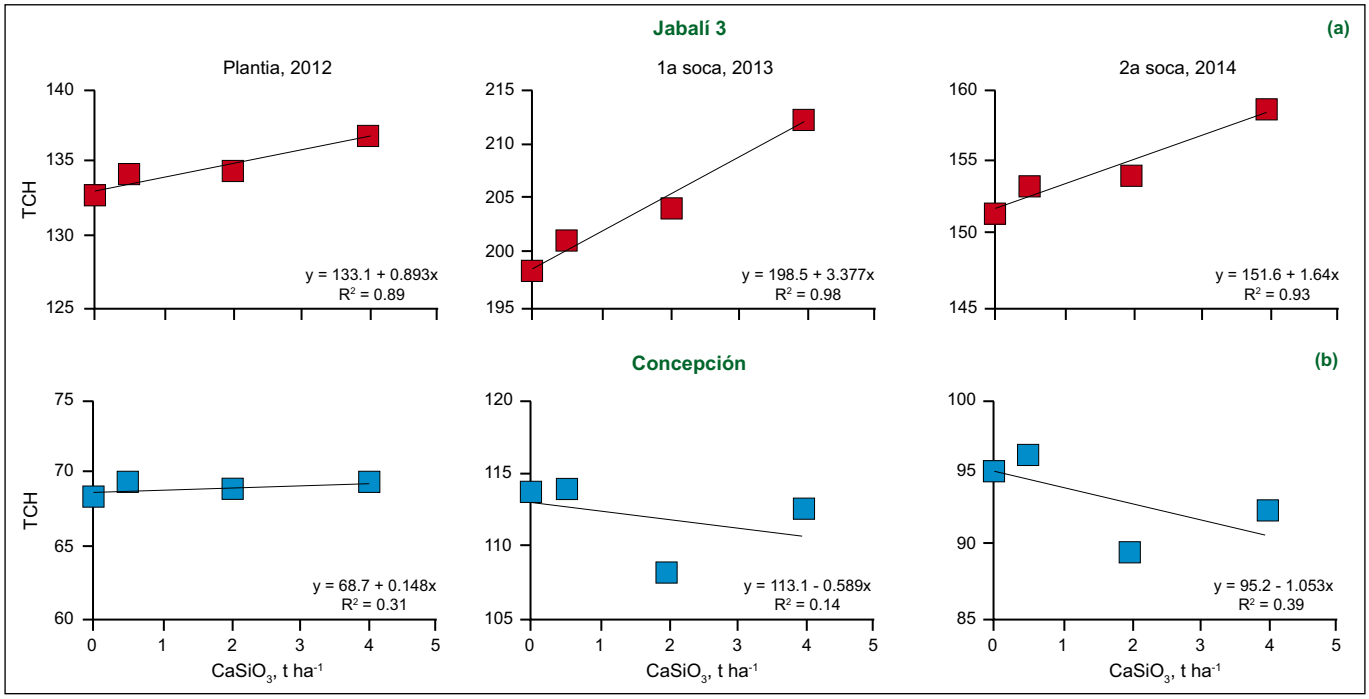


Figura 1. Rendimiento de caña (TCH) observado y tendencia de respuesta a las aplicaciones de $CaSiO_3$ en tres ciclos de cultivo en finca Jabalí (a) del ingenio La Unión; y finca Concepción (b) del ingenio Pantaleón .

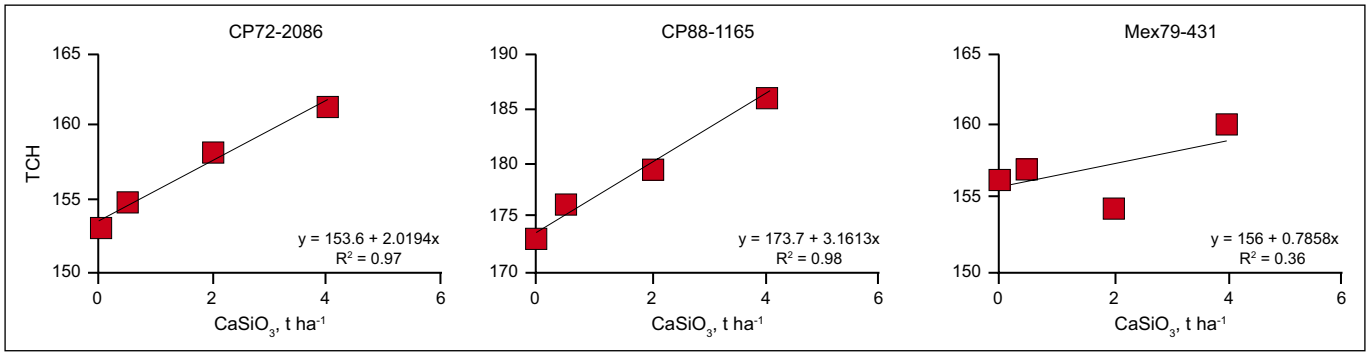


Figura 2. Rendimiento de caña (TCH) observado y tendencia de respuesta a las aplicaciones de $CaSiO_3$ en tres variedades de caña en finca Jabalí 3, ingenio La Unión.

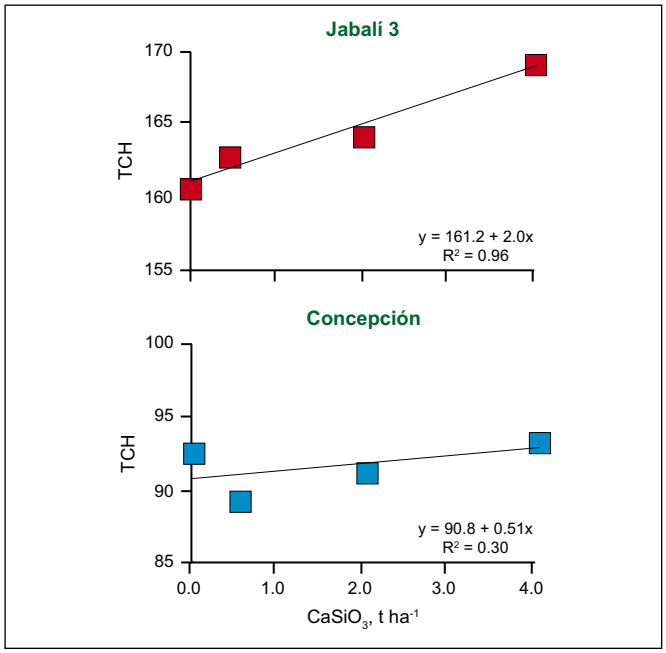


Figura 3. Respuesta promedio observada y tendencia del efecto a las aplicaciones de $CaSiO_3$ en el rendimiento de caña en Jabalí 3 (3 años) y Concepción (3 años).

este nivel crítico indicado. El efecto positivo del $CaSiO_3$ observado en Jabalí 3 podría estar asociado también a otros beneficios de este material tales como el aumento en la eficiencia del uso del agua por la planta, retención de humedad, control de enfermedades, solubilizacion de otros nutrientes y otros efectos que no fueron medidos.

Es importante indicar que la respuesta positiva y significativa del silicio en primera y segunda soca en el sitio de Jabalí 3 es un indicativo del efecto residual del $CaSiO_3$ y la lenta disponibilidad del silicio en el tiempo del material utilizado en la evaluación.

En cuanto al efecto del silicio en las variedades, se determinó que su efecto en el rendimiento de caña en ambos sitios fue independiente de la variedad de caña utilizada. Esto se puede observar en la **Figura 2** donde se muestra el efecto del silicio por variedad para Jabalí 3.

Las más claras respuestas al silicio se observaron en las variedades CP88-1165 y CP72-2086 con efectos positivos bien definidos con R^2 altos. La variedad Mex79-431 muestra una respuesta más leve y con mayor variabilidad.

Tabla 2. Contenido de silicio en hoja en variedades de caña evaluadas en dos sitios según niveles de $CaSiO_3$ aplicado.

Si aplicado	Jabalí 3			Concepción		
t ha^{-1}	CP72-2086	CP88-1165	Mex79-431	CP72-2086	CP88-1165	CP88-1508
0	2.1	2.5	2.4	1.9	1.6	2.5
0.5	2.7	2.4	2.4	1.9	1.7	2.5
2	2.5	2.3	2.4	1.8	1.9	2.3
4	2.5	2.8	2.3	1.9	1.9	3.0
Media	**2.5**	**2.5**	**2.4**	**1.9**	**1.8**	**2.6**

En la **Figura 3** se muestra la respuesta promedio de todas las variedades en todos los ciclos por sitio, donde se resume y verifica las respuestas que ya fueron discutidas. La respuesta promedio es el mejor estimador del efecto del silicio dado que no hubo evidencia estadística del efecto de las interacciones silicio x variedad, silicio x ciclo y silicio x variedad x ciclo.

En la **Figura 3** se observa que en Jabalí 3, en los tres años se obtuvo en promedio una respuesta lineal positiva y significativa a las aplicaciones crecientes de $CaSiO_3$. Del modelo de regresión se estima que por cada t de $CaSiO_3$ aplicado a la siembra se obtuvo un incremento medio de 2 t de caña más por año, esto quiere decir que el efecto acumulado en tres años fue de 6 t de caña más con respecto a no aplicar. Se deduce que con la aplicación de la dosis más alta de $CaSiO_3$ (4 t ha^{-1}) evaluada en el experimento se obtuvo un incremento acumulado de 24 t de caña ha^{-1} mas en los tres años. Estos resultados indican que hay algunas opciones para incrementar el rendimiento de caña en los suelos Inceptisoles arcillosos, sin embargo su implementación y uso dependerá del costo-beneficio de la práctica. El costo de 1 t de $CaSiO_3$ como silifertidol ultra utilizado en este experimento puesto en la frontera de Tecun Umán tiene un costo aproximado de US$ 270. Es importante enfatizar que los efectos residuales medidos en este ensayo fueron en dos años únicamente (primera y segunda soca) pero es posible que tenga efectos residuales por más tiempo el cual permitirá amortizar el costo del producto por mas años y bajar costo.

En Concepción por su lado no hay indicios del efecto del silicio en la producción y se ve una ligera disminución pero sin importancia estadística.

La diferencia de rendimiento promedio observada entre los dos sitios se debería a efectos climáticos por su posición (Concepción localizada en la zona alta), por suelo y por factores de manejo como el riego (Jabalí 3) y no riego (Concepción) y a la época de cosecha mas tarde en Concepción.

Contenido de silicio en la hoja en caña plantía

En la **Tabla 2** se presentan los contenidos de silicio en la hoja (TVD) a nivel varietal según las dosis de $CaSiO_3$ aplicado en los dos suelos (datos de plantía).

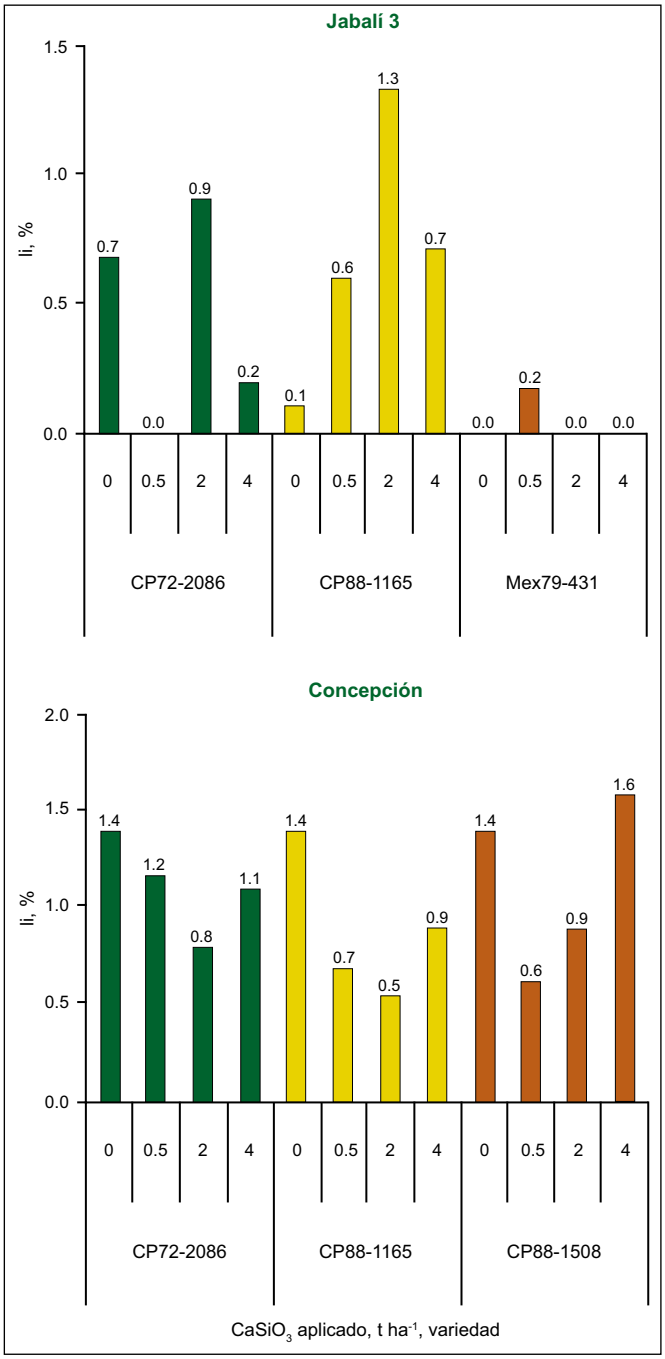


Figura 4. Efecto promedio de las aplicaciones de $CaSiO_3$ en la intensidad de infestación del barrenador del tallo en Jabalí 3 (2 años) y Concepción (3 años).

En la **Tabla 2** se observa que en general los contenidos de silicio en la hoja son adecuados aun en los testigos sin aplicación y no hay una clara tendencia en el aumento del nivel de este con el aumento de las dosis de $CaSiO_3$, aunque se lograron valores de 2.7 y 2.8% en las variedades CP72-2086 y CP88-1165 respectivamente en Jabalí 3 y hasta un valor de 3.0% con la dosis más alta de $CaSiO_3$ (4 t ha^{-1}) en la variedad de CP88-1508 en Concepción. Los niveles de silicio en la hoja en los dos sitios estarían en los niveles óptimos reportados para caña de azúcar de 1.5-4% según Anderson y Bowen, 1994.

Intensidad de infestación del barrenador

En la **Figura 4** se muestra la intensidad de infestación del barrenador al momento de la cosecha según las variedades evaluadas y las dosis de $CaSiO_3$ aplicado en los dos sitios.

En general se observa que los daños del barrenador fueron bajos en los dos sitios independientemente de la aplicación de silicio. La relación entre dosis de $CaSiO_3$ y daño de barrenador fueron inconsistentes por lo que se deduce que las variaciones de la intensidad de infestación del barrenador observados en los dos sitios está determinado principalmente por la infestación o manejo local, más que por una respuesta al sílice. Es importante recordar que los niveles de silicio en la hoja en caña plantía en todas las variedades estuvieron en niveles adecuados como ya fue mencionado.

En términos generales estos resultados son interesantes pues sugieren que hay suelos con respuesta al Si, mas no en todos los suelos se esperan resultados. Es importante investigar bajo que condiciones hay respuestas, la dosis de aplicación del $CaSiO_3$, otras fuentes de silicio potencialmente más eficientes y las aplicaciones de silicio a nivel foliar. Es importante además seguir investigando beneficios secundarios del $CaSiO_3$ como uso eficiente del agua, efecto en las plagas y enfermedades entre otros.

Conclusiones

El efecto del silicio fue diferente en los dos suelos. En el suelo Inceptisol de finca Jabalí 3 el rendimiento de caña se incremento en forma lineal con las dosis aplicadas de $CaSiO_3$ hasta 4 t ha^{-1} y no se logro llegar a la meseta de producción. En promedio de los tres años se estimo que por cada 1 t de $CaSiO_3$ el rendimiento de caña incremento 2 t de caña por año obteniendo un incremento acumulado de 6 t de caña ha^{-1} en tres años, incluyendo los efectos residuales. El $CaSiO_3$ aplicado a la siembra tuvo efectos residuales en las dos socas evaluadas.

En el suelo Andisol de textura franca de finca Concepción se determino que el silicio no afecto el rendimiento de caña.

La concentración de sacarosa no fue afectada por las aplicaciones de silicio en ninguna de las dos localidades evaluadas y no se encontró relación entre la aplicación de silicio al suelo y el contenido de silicio en la hoja con el daño por barrenador.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Dr. Gaspar Korndörfer, líder del grupo de pesquisa “Silicio Na Agricultura” del Instituto de Ciencias Agrarias-LAFER-Universidad Federal de Uberlandia, Brasil por su orientación y por la realización de los análisis de silicio en suelo y en planta en su laboratorio. De la misma manera se agradece al Ing. Raúl Pérez Hernández, Director General de a la empresa Dolomita Agrícola de México por el apoyo con el $CaSiO_3$ utilizado en la evaluación. Agradecimientos al Ing. Manuel Márquez Entomólogo de Cengicaña, a la Lcda. Wendy de Cano y el personal del laboratorio agronómico de Cengicaña por su apoyo.

Bibliografía

Anderson, D.L. y J.E. Bowen. 1994. Nutrición de la Caña de Azúcar. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). 40 p.

Berthelsen S., A.D. Noble, G. Kingston, A. Hurney, A. Rudd, y A. Garside. 2003. Improving yield and ccs in sugarcane through the application of silicon based amendments. CSIRO Land and Water. Final Report. 138 p.

Dayanandam, P., P.B. Kaufman, y C. I. Frakin. 1983. Detection of silica in plants. Amer. J. Bot 70:1079-1084.

Meyer J.H., y M.G. Keeping. 2000. Review of research into the role of silicon for sugarcane production. Proc S Afr Sug Technol Ass 74:29-40.

Korndorfer G.H., H.S. Pereira, y M.S. Camargo. 2002. Papel do Silicio na Produçao de Cana-de-Açucar. STAB 21(2):34-37

Kondorfer G.H., N.M. Coelho, G.H. Snyder, y C.T. Mizutani. 1999. Avaliaçâo de metodos de extraçâo de silicio para solos cultivados com arroz de sequeiro. Rev. Bras Solo 23(1):101-106.

Cursos y Simposios

1. 2do Seminario Nacional sobre Actualización en Fertilidad del Suelo

Organiza : SCCS
Lugar : Huila, Pitalito, Colombia
Fecha : Mayo 26-28, 2016
Información : http://www.sccsuelo.org

2. XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS-UNRC
Lugar : Río Cuarto, Córdoba, Argentina
Fecha : Junio 27-Julio 1, 2016
Información : http://congresosuelo2016.org.ar

3. XII Conferencia Internacional de Agricultura de Precisión

Organiza : ISPA-IPNI-PrecisionAg
Lugar : Union Station, St. Louis, MO, EE.UU.
Fecha : Julio 31-Agosto 3, 2016
Información : https://www.ispag.org/icpa

4. Conferencia InfoAg 2016

Organiza : IPNI-PrecisionAg
Lugar : Union Station, St. Louis, MO, EE.UU.
Fecha : Agosto, 2-4, 2016
Información : http://www.infoag.org

5. III Simposio Nacional de Sorgo – I Conferencia Internacional de Sorgo

Organiza : AIANBA
Lugar : Pergamino, Buenos Aires, Argentina
Fecha : Agosto, 3-4, 2016
Información : http://simposiodesorgo.com.ar

6. Simposio Brasileño de Educación del Suelo

Organiza : SBCS
Lugar : Sao Paulo, SP, Brasil
Fecha : Septiembre, 7-10, 2016
Información : http://www.sbcs.org.br
http://viiisbes.fflch.usp.br

7. Congreso Internacional de Cítricos

Organiza : IAC-IAPAR
Lugar : Foz de Iguazú, PR, Brasil
Fecha : Septiembre, 18-23, 2016
Información : http://www.icc2016.com

8. XVIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SCCS
Lugar : Boyacá, Villa de Leyva, Colombia
Fecha : Octubre, 5-8, 2016
Información : http://www.sccsuelo.org

9. Curso: El Sistema Internacional de Clasificación de Suelos

Organiza : SECS
Lugar : Quito, Ecuador
Fecha : Octubre, 17-21, 2016
Información : http://www.sccsuelo.org

10. XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SECS
Lugar : Quito, Ecuador
Fecha : Octubre, 24-28, 2016
Información : info@secsuelo.org
http://www.secsuelo.org

11. 7ma. Conferencia de la Iniciativa Internacional de Nitrógeno

Organiza : Universidad de Melbourne
Lugar : Melbourne, Australia
Fecha : Diciembre, 4-8, 2016
Información : http://www.ini2016.com

12. Fronteras del Potasio

Organiza : IPNI
Lugar : Roma, Italia
Fecha : Enero, 25-27, 2017
Información : http://kfrontiers.org

Publicaciones Disponibles IPNI-Norte de Latinoamérica

Titulo de la Publicación	Costo (U$S)
Manual de Arroz. Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes: Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. **Guía Practica para el Manejo de Nutrientes en Arroz:** Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores.	45.00
Palma de Aceite. Manejo para Rendimientos Altos y Sostenidos: La palma de aceite es uno de los cultivos con mayor expectativa de crecimiento a nivel mundial, existe una gran demanda entre los palmicultores y agrónomos por conocimientos y publicaciones sobre su manejo adecuado.	45.00
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. **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. **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.	45.00
4R de la Nutrición de Plantas. El concepto de los 4R, los 4 Requisitos, del **"MANEJO RESPONSABLE DE NUTRIENTES"** es un enfoque nuevo e innovador para las mejores prácticas de manejo de los fertilizantes adoptado por la industria mundial de fertilizantes. Este enfoque considera dimensiones económicas, sociales y ambientales del manejo de nutrientes y es esencial para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. El concepto es simple—aplicar la fuente correcta de nutrientes, en la dosis, el momento y el lugar correctos—pero la implementación usa el conocimiento en forma intensiva y es específica para cada sitio.	30.00
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
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
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.	10.00

Vea el catálogo completo de publicaciones del IPNI en http://nla.ipni.net

Ordenamiento Territorial: un desafío para la Ciencia del Suelo

XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

27 de junio al 1 de julio de 2016

Universidad Nacional de Río Cuarto

Facultad de Agronomía y Veterinaria

AACS
ASOCIACION ARGENTINA CIENCIA DEL SUELO

2015
Año Internacional de los Suelos

La Asociacion Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS)
y la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto

Invitan al:

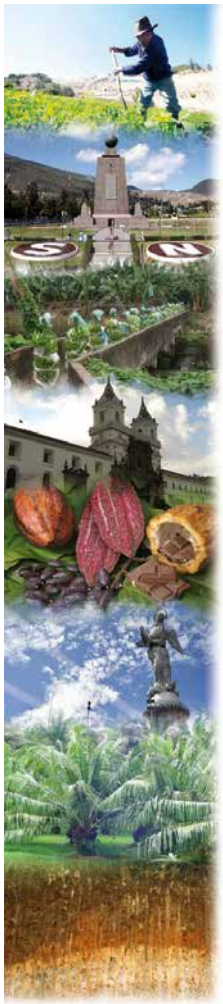
XXV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Ordenamiento territorial: Un desafio para la Ciencia del Suelo

Río Cuarto (Córdoba, Argentina)
27 junio al 1 de julio de 2016

Para mayor información sobre programa e inscripciones,
por favor visite el sitio web:
http://www.congresosuelo2016.org.ar

¡Los esperamos!



SOCIEDAD ECUATORIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO

SLCS

XXI Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

XV Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

"Todos los Suelos en la Mitad del Mundo"

El suelo, soporte de la diversidad de paisajes, vida y cultura

Quito - Ecuador
Hotel J.W. Marriott
24-28 de Octubre de 2016

info@secsuelo.org
agonzalez@secsuelo.org
www.secsuelo.org

Inscripciones al Congreso: **www.secsuelo.org/app**