



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ÁREA DE CONSOLIDACIÓN: MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

AÑO: 2016

Alumna: Gheresi, María Fernanda

Tutores: Cecilia Bruno, Franca Giannini y Ariel Rampoldi

Efecto a la fertilización de Zinc en seis series de suelo de la provincia de Córdoba para el cultivo de Maíz

Autor: Gherzi, María Fernanda

Tutores: Bruno, Cecilia (Tutor docente MCIA)

Giannini, Franca (Cotutor-MCIA)

Rampoldi, Ariel (Tutor especialista edafología)



AÑO 2016

INDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	4
AGRADECIMIENTO.....	5
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
Objetivos	9
Objetivo general	9
Objetivos específicos	9
MATERIALES Y MÉTODOS	9
Descripción del ensayo	10
Determinación de Zinc en planta.....	12
Determinación de Zinc en suelo	12
Procedimiento de análisis estadístico.....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
Análisis descriptivo	14
Estudio de la relación del contenido de Zn en planta a la fertilización con Zinc.....	18
Estudio de la relación del contenido de Zinc en suelo respecto a la fertilización con Zinc.....	20
CONCLUSIÓN	22
BIBLIOGRAFÍA.....	23
Anexo	25

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1: Ubicación de los sitios de muestreo, clasificación taxonómica y perfil modal de las seis series de suelo de la provincia de Córdoba.	10
Tabla 2: Caracterización general de los suelos de 0-20cm para seis series de suelo de la provincia de Córdoba.....	11
Tabla 3: Estimación de la respuesta a la fertilización con Zinc para seis series de suelo de la provincia de Córdoba.....	19
Tabla 4: Respuesta a la fertilización con Zn y el contenido de Zinc en suelo para seis series de suelo de la provincia de Córdoba.	21
Figura 1: Contenido de zinc en planta según las dosis de fertilización de zinc aplicada en seis series de suelos de la región centro de la provincia de Córdoba.	14
Figura 2: Producción de materia seca (grMS) para cada dosis aplicada con fertilizante de Zinc para cada serie de suelo de la provincia de Córdoba.....	15
Figura 3: Diagrama de dispersión para el contenido de Zinc en planta (mg/hg) en función de la producción de biomasa (grMS) obtenido para cada serie de suelo.	16
Figura 4: Gráfico biplot del Análisis de Componentes Principales para las variable, suelos, Zn en planta, extractantes (Mehelich-1, Mehelich-3 y DTPA-TEA) y producción de biomasa.....	17
Figura 5: Gráfico biplot resultado del ACP para las variables características edáficas de cada serie de suelo (Conductividad eléctrica, CIC, COT<50, arcilla, arena total, COT>50, MOS, Nt, pH; Zn en planta, extractantes: Mehelich-1, Mehelich-3 y DTPA-TEA).	18
Figura 6: Relación entre el contenido de Zn en planta (mg/kg) y las dosis aplicadas de fertilizante (0-7-14-21-28-35 mg/l) para cada serie de suelo	20
Figura 7: Respuesta del contenido de Zn en suelo (mg/kg) a la aplicación de las dosis de fertilizante (0-7-14-21-28-35 mg/l).	22

AGRADECIMIENTO

A mi tutor del trabajo final del Área de Consolidación Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, Ing. Agr. (Dr) Cecilia Bruno, por guiarme en el desarrollo de los análisis, por su tiempo y dedicación.

A la Ing. Agr. Franca Giannini, por sus valiosos aportes, tiempo dedicado y calidad como persona.

A mi tutor de practicanato agronómico, Ing. Agr. (Dr) Ariel Rampoldi por su apoyo continuo durante el periodo de ensayo y por sus aportes éticos.

Al Laboratorio de Suelos y Agua y a los ayudantes técnicos de la EEA-INTA Manfredi por su colaboración durante el período de ensayo, especialmente a Sebastián Salas.

RESUMEN

En los últimos tiempos por el aumento de los rendimientos, el mayor uso de fertilizantes, mejoras en el material genético con híbridos, variedades de mayor potencial de rendimiento, la fertilización con micronutrientes como es el caso del Zinc ha adquirido especial importancia. El objetivo de este trabajo fue el de evaluar el efecto de la fertilización con Zinc en seis series de suelo de la provincia de Córdoba (General Cabrera, Barranca Yaco, Sacanta, Oncativo, Olaeta y San Francisco) en el cultivo de Maíz. Se evaluó el efecto de la fertilización con Zinc sobre el contenido de Zn en planta, la producción de Biomasa y el contenido de Zn en el suelo mediante un ensayo en la EEA INTA Manfredi Córdoba, Argentina, bajo cubierta. Se pudo observar que la serie General Cabrera presento mayor contenido de Zinc en planta seguido por Olaeta, Sacanta, Barranca Yaco y San Francisco a dosis crecientes de fertilizante. La producción de biomasa fue mayor en Barranca Yaco, Sacanta y San Francisco. Se determinó que General Cabrera presento mayor contenido de Zn en planta pero no la mayor producción de biomasa. Oncativo y Olaeta tuvieron bajo contenido de Zn en planta y baja producción de biomasa. Barranca Yaco, San Francisco y Sacanta obtuvieron alta producción de biomasa y bajo contenido en planta. Se determinó que existe una respuesta a la fertilización con Zn en el contenido de Zn en planta y el contenido de Zn en suelo.

Palabras claves: contenido, efecto, ensayo, planta, producción, respuesta.

INTRODUCCIÓN

En Argentina y en particular en la Región Pampeana, la producción agrícola se ha realizado aprovechando la fertilidad natural de los suelos. En un relevamiento sobre la aptitud agrícola de los suelos de la región pampeana argentina realizada en la década del '80, se determinó que los contenidos de Zn se ubicaban por debajo de la media internacional y próxima a los umbrales de deficiencia, pudiendo ser limitantes para el cultivo de maíz. La fertilización con micronutrientes no es una práctica muy difundida en la Argentina a diferencia de otros países de alta producción agrícola (Sillanpaa, 1982).

El aumento de los rendimientos como resultado del mayor uso de fertilizantes y de híbridos o variedades de mayor potencial, acompañado de diferentes formas de laboreo de los sistemas agrícolas, han generado desequilibrios biológicos, químicos y geológicos provocando que cada vez sea más frecuente encontrar respuesta al agregado de micronutrientes como Zinc (Zn) (Flores y Sarandón, 2009). El rol del zinc en la planta se relaciona principalmente a procesos bioquímicos como síntesis del Triptofano (precursor de auxinas de crecimiento, hormona de crecimiento vegetal), en la síntesis de proteínas (interviene en el contenido de ARN y en la síntesis de ribosomas) y / o formando parte de la estructura de las enzimas (actuando en el sistema enzimático y siendo activador de innumerables enzimas). Otras funciones son de carácter estructural en las membranas (manteniendo la integridad de las mismas); fijación de CO₂ en la fotosíntesis y metabolismo de carbohidratos en el proceso de conversión de azúcares en almidón; también, relacionados a la formación de granos y de polen, fecundidad de flores y su cuajado; y participa en los sistemas de defensa del cultivo, relacionados a la protección de cloroplastos y en la resistencia a la infección de patógenos.

El análisis de nutrientes y la interpretación de los resultados es una parte importante dentro del mantenimiento de un suelo agrícola. El propósito de los análisis de suelos es determinar su estado de fertilidad e identificar los elementos nutritivos que podrían limitar el crecimiento de las plantas, ya sea bien por encontrarse en exceso o en defecto. Es importante mencionar que el zinc es fuertemente adsorbido por los coloides del suelo, lo que ayuda a disminuir las pérdidas por lixiviación. Es por ello que en suelos arenosos, con baja capacidad de intercambio catiónica y sujetos a lluvias intensas se pueden presentar problemas de deficiencia (Vázquez y Scheid Lopes, 2006). El zinc alcanza la raíz por el mecanismo conocido como difusión, caracterizado por la baja movilidad del nutriente en el suelo, el cual es absorbido en la forma de Zn⁺², predominantemente cuando el pH de la solución del suelo varía entre 5 y 7, por lo tanto, el proceso de absorción es significativamente afectado por un pH inferior a 4,5 –5.

Presentando una movilidad deficiente en floema. Adicionalmente se reconoce también, que altos niveles de P en el medio (suelo o sustrato), pueden provocar la deficiencia de Zn inducida, principalmente por la ocurrencia de la insolubilización del Zn en la superficie de las raíces, configurándose un proceso de inhibición no competitiva (Fancelli y Vázquez, 2006).

El desarrollo de métodos adecuados de diagnóstico para evaluar la disponibilidad de Zn en suelo es clave para un manejo racional del mismo. En la actualidad la tendencia es utilizar soluciones extractoras universales, validadas para suelos con diferentes características y con capacidad de extraer varios elementos simultáneamente. En relación a la determinación de micronutrientes en suelos existen varias soluciones extractoras. Las más difundidas son: Mehlich-1, Mehlich-3 y DTPA-TEA. Para validar el comportamiento de una solución extractora en relación a un nutriente, y en un suelo en particular, se utilizan las tasas de recuperación del extractante en función de las dosis de un elemento adicionado (Yool Rosales, 2001). El mecanismo de acción del DTPA es a través de la formación de complejos con los cationes solubles del suelo, lo que provoca el desplazamiento de aquellos que se encuentran en los sitios de intercambio y formando complejos con la MO (Melgar et al. 2001). Mehlich-3 ofrece la ventaja de poder extraer simultáneamente del suelo P, Ca, Na, K, Mg y micronutrientes como Cu, Zn y Mn (entre otros), además puede ser empleado para un amplio rango de pH (desde suelos ácidos a suelos de origen calcáreo) y se ha demostrado que las cantidades extraídas con este método correlacionan bien con la disponibilidad de varios de estos elementos para las plantas (Wang et al., 2004). Mehlich1 trabaja con disoluciones ácidas que disuelven la fase sólida que retienen a los metales (Mehlich, 1953).

Objetivos

Objetivo general

Determinar la respuesta a la fertilización con Zinc en seis series de suelo del centro de la provincia de Córdoba en el cultivo de Maíz.

Objetivos específicos

- Evaluar la respuesta a las dosis crecientes de fertilizante en el área foliar de Maíz según el tipo de suelo.
- Evaluar la respuesta a las dosis crecientes de fertilizante en el área foliar respecto a la producción de biomasa aérea, según el tipo de suelo.
- Evaluar la respuesta del contenido de Zinc en suelo a la fertilización de Zinc, según el tipo de suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del ensayo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi desde noviembre de 2015 a abril de 2016, bajo cubierta, a cargo del Dr Rampoldi, Ariel. Se trabajó con seis series de suelo representativas del área de desarrollo de los Proyectos Regionales con Enfoque Territorial (PRETs) correspondiente a la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) INTA Manfredi (Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1: Ubicación de los sitios de muestreo, clasificación taxonómica y perfil modal de las seis

Serie de suelos	Ambiente Geomorfológico	Ubicación Geográfica del Sitio de Muestreo			Clasificación Taxonómica	Perfil Modal
		Latitud S	Longitud W	Altitud msnm		
Barranca Yaco	Pampa Loéssica Alta	30°57'20,62"	63°59'31,71"	443	Argiustol Údico	A _p / B _v / BC/C _k
Oncativo	Pampa Loéssica Alta	31°51'37,95"	63°44'32,74"	297	Haplustol éntico	A/ AC/ C _k
Gral. Cabrera	Pampa Loéssica Alta	32°48'6,26"	63°53'23,73"	303	Haplustol éntico	A/ AC/ C _k
San Francisco	Altos de Morteros	31°14'55,93"	62°10'28,01"	113	Argiudol Típico	A _p / A/ BA/B _{1t} /B _{2t} /BC/C
Sacanta	Pampa Loéssica Plana	31°42'4,45"	63°25'6,25"	232	Haplustol típico	A _p /B/BC/C _k
Olaeta	Pampa Loéssica Alta	33°1'3,03"	63°56'4,83"	305	Haplustol éntico	A/ AC/ C

series de suelo de la provincia de Córdoba.

Fuente: tesis de grado del especialista en Cultivos extensivos Daniel Pablo Trossero

Durante los meses de noviembre y diciembre de 2015 se realizaron los muestreos de los diferentes series de suelo: Olaeta, General Cabrera, Oncativo, Barranco Yaco, Sacanta y San Francisco. Debido a que el estudio se realizó con suelos desarrollados se tomaron los primeros 20cm del perfil de penetración del horizonte A. En laboratorio se homogeneizaron las muestras con tamiz de 2mm. Las series de suelos estudiadas presentan características edáficas diferentes. Barranca Yaco y San Francisco presentan el mayor contenido de MOS (g/kg) y CIC (cmol/kg). Estos son suelos de clase textural franco-arcillo-limosos. Le sigue en contenido de MOS (g/kg) y CIC (cmol/kg) Sacanta y Oncativo siendo de clase textural franco-limosos. Olaeta y General

Cabrera presentan menor contenido de MOS (g/kg) y CIC (cmol/kg) siendo su clase textural franco- arcillosos (Tabla 2)

Tabla 2: Caracterización general de los suelos de 0-20cm para seis series de suelo de la provincia de Córdoba.

Características de lo suelos		Barranca Yaco	Oncativo	Gral. Cabrera	San Francisco	Sacanta	Olaeta
MOS	g kg ⁻¹	31,6 ± 0,4	14,6 ± 0,6	10,8 ± 0,2	20,4 ± 0,3	16,5 ± 0,1	12,6 ± 0,4
COT	g kg ⁻¹	18,3 ± 0,0	8,4 ± 0,0	6,2 ± 0,0	11,8 ± 0,0	9,6 ± 0,0	7,3 ± 0,0
COT<50	g kg ⁻¹	8,7 ± 0,5	5,2 ± 1,9	1,9 ± 0,1	4,8 ± 0,1	6,2 ± 0,3	-
COT>50	g kg ⁻¹	9,6 ± 0,6	3,3 ± 1,9	4,3 ± 0,2	7,0 ± 0,1	3,4 ± 0,3	-
Nt	g kg ⁻¹	2,3 ± 0,0	1,0 ± 0,0	0,7 ± 0,0	1,3 ± 0,0	1,0 ± 0,0	0,9 ± 0,0
C:N		8:1	9:1	9:1	9:1	9:1	9:1
P ext.	mg kg ⁻¹	59,6 ± 1,7	32,2 ± 0,9	4,9 ± 1,2	62,2 ± 1,5	29,3 ± 0,2	7,9 ± 0,8
pH		6,8 ± 0,0	6,5 ± 0,0	6,2 ± 0,0	6,1 ± 0,0	6,7 ± 0,0	6,9 ± 0,0
Cond. Eléctrica	dS m ⁻¹	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	0,7 ± 0,0	0,9 ± 0,0	1,0 ± 0,0	0,8 ± 0,0
CIC	cmol kg ⁻¹	17,5 ± 0,5	14,0 ± 0,6	8,6 ± 0,1	16,7 ± 0,2	15,3 ± 0,1	9,4 ± 0,1
Cationes Intercambiables							
Ca ²⁺	cmol _(c) kg ⁻¹	14,8 ± 0,2	9,6 ± 0,2	6,1 ± 0,1	10,2 ± 0,3	11,3 ± 0,1	7,2 ± 0,2
Mg ²⁺	cmol _(c) kg ⁻¹	2,4 ± 0,2	3,0 ± 0,2	1,0 ± 0,1	2,7 ± 0,4	2,7 ± 0,3	1,3 ± 0,1
K ⁺	cmol _(c) kg ⁻¹	1,9 ± 0,0	1,8 ± 0,0	1,3 ± 0,0	1,8 ± 0,0	2,2 ± 0,0	1,4 ± 0,0
Na ⁺	cmol _(c) kg ⁻¹	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,6 ± 0,0	1,0 ± 0,1	1,6 ± 0,0	1,0 ± 0,1
Granulometría							
Arcilla (<2µ)	%	26,0 ± 0,1	21,6 ± 0,3	12,3 ± 0,6	31,0 ± 0,2	23,4 ± 0,3	13,1 ± 0,4
Limo (2-20µ)	%	28,7 ± 1,0	23,6 ± 1,3	9,3 ± 0,6	44,6 ± 0,6	26,8 ± 0,1	9,8 ± 0,9
Limo (2-50µ)	%	58,0 ± 0,4	64,4 ± 0,1	26,5 ± 1,0	66,7 ± 0,6	62,6 ± 0,6	24,6 ± 0,7
Arena (50-100µ)	%	6,4 ± 0,4	12,1 ± 0,3	57,6 ± 0,1	1,9 ± 0,0	10,5 ± 0,2	54,9 ± 0,3
Arena (100-250µ)	%	5,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	3,5 ± 0,2	0,6 ± 0,0	0,9 ± 0,1	5,4 ± 0,2
Arena (250-500µ)	%	2,4 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,0
Arena (500-1000µ)	%	1,3 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,0
Arena (1000-2000µ)	%	0,1 ± 0,0	0,1 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,2 ± 0,0
Arena Total	%	15,7	13,1	61,4	2,7	12,0	61,5
Clase Textural							
		FAL	FL	FA	FAL	FL	FA
CC	W (%)	28,0 ± 0,1	26,3 ± 0,3	14,4 ± 0,1	32,5 ± 0,0	26,5 ± 0,8	14,9 ± 0,2
CMP	W (%)	13,6 ± 0,0	10,7 ± 0,2	6,3 ± 0,0	13,2 ± 0,1	11,3 ± 0,1	7,2 ± 0,4

MOS: materia orgánica; COT: carbono orgánico total; COT<50: carbono orgánico asociado a la fracción mineral <50 µm; COT>50: carbono orgánico asociado a la fracción mineral >50 µm; Nt: nitrógeno total; C:N: relación carbono:nitrógeno; CIC: capacidad de intercambio catiónico; FAL: franco arcillo-limosa; FL: franco limosa; FA: franco arenosa; CC: capacidad de campo; CMP: capacidad de marchitez permanente

Fuente: tesis de grado del especialista en Cultivos extensivos Daniel Pablo Trossero.

Determinación de Zinc en planta

La evaluación de la cantidad de Zn absorbido por el maíz se realizó para seis series de suelo con seis dosis (0-7-14-21-28-35 mg/l). Cada tratamiento fue evaluado con 4 repeticiones para cada tipo de suelo. Se sembró en cada maceta dos semillas de un Híbrido de Maíz HCL MG de Supermaíces Nidera. Todas las macetas recibieron una solución de nutrientes que contenía nitrato de potasio (KNO_3), nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), sulfato de magnesio (MgSO_4), ácido bórico (H_3BO_3), cloruro de manganeso (MnCl_2), sulfato de zinc (ZnSO_4) y sulfato de cobre (CuSO_4), además diferentes dosis de Zn propuestas para el ensayo. Las dosis de Zn se dividieron en dos momentos de aplicación: una a la siembra y otra a los diez días. Se mantuvieron las plantas a capacidad de campo (CC). A los 45 días de la siembra se procedió a cortar, pesar y medir la altura de cada planta (V5). Luego se llevó a estufa durante 48 horas y se pesó nuevamente para obtener la producción de materia seca y con ello la producción de Biomasa. Las determinaciones del contenido de Zn en planta se realizaron mediante un espectrofotómetro. Este instrumento tiene la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra. Permite obtener información sobre la naturaleza de la sustancia en la muestra e indicar indirectamente qué cantidad de la sustancia que nos interesa está presente en la muestra.

Determinación de Zinc en suelo

Para la determinación de Zn en suelo, se usaron soluciones extractoras que simulan la acción de la raíz, o sea cuantifican la cantidad de nutriente disponible en la solución, semejante a la que sería capaz de tomar una planta durante su ciclo de crecimiento. Estas soluciones son: Mehlich1, Mehlich-2 y DTPA-TEA. Las características de los extractantes son las siguientes:

- Mehlich-1: se compone de una mezcla de ácido clorhídrico (HCl) 0,05 N y de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,025 N (Aspiazú, 2004). La extracción de los elementos se basa en la solubilizarían por efecto de la acidez a pH 2, siendo el SO_4^{2-} el encargado de restringir el proceso de readsorción de los aniones recién extraídos (Santos Neto, 2003) y el HCl tiene la función disolver los fosfatos cálcicos.
- Mehlich-3: es una solución de tipo amoniacal y está compuesto por: 0,2 M de ácido acético (CH_3COOH), 0,25 M de nitrato de amonio (NH_4NO_3), 0,015 M de fluoruro de amonio (NH_4F), 0,013 M de ácido nítrico (HNO_3) y 0,001 M de ácido etilendiamino-tetraacético (EDTA). El pH final de la solución extractora es de 2,5 (Santos Neto, 2003).

- DTPA-TEA: la solución está compuesta por: 0,05 M de ácido dietilentriamino-pentaacético, 0,01 M de cloruro de calcio (CaCl_2) y 0,1 M de trietanolamina (TEA). El pH final de la solución se ajusta a pH 7,3 con HCl.

Procedimiento de análisis estadístico

Como medida exploratoria de los datos se realizó una estadística descriptiva, en la cual, para observar la respuesta del Zn en planta (mg/kg) y la producción de biomasa (grMS) para cada dosis creciente de fertilizante de Zn en cada serie de suelo se realizaron gráficos de barra. Mediante un gráfico de dispersión se observó la respuesta del contenido de Zn en planta respecto a la producción de biomasa para cada serie de suelo.

Mediante un Análisis de Componentes Principales y su gráfico biplot se observó el comportamiento de las variables Zn en planta; Zn extractable para cada método (Mehelich-1; Mehelich-2: DTPA- TEA); dosis y tipos de suelo y sus relaciones. Se realizó ACP para las variables estudiadas de cada suelo, el contenido de Zn en planta y el Zn extractable por los tres métodos y sus relaciones.

Para evaluar la respuesta a la fertilización con Zinc se ajustaron regresiones lineales simples para cada serie de suelo para las variables: y =contenido de zinc en planta; y =contenido de zinc en suelo. El programa estadístico utilizado fue Infostat (Di Rienzo et al., 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis descriptivo

Existe una respuesta positiva creciente del contenido de Zn en planta respecto a la dosis de fertilización con Zn en las series de suelos. Se puede observar que General Cabrera presentó la mayor respuesta a la fertilización con Zn seguido por Olaeta, Oncativo, Sacanta, Barranca Yaco y San Francisco. En promedio para una dosis de 28 y 35 mg/l, en la serie de General Cabrera se observó que la respuesta fue menor con respecto a la dosis 21 mg/l. En las demás series la respuesta a la fertilización con Zn fue creciente positiva (Figura 1).

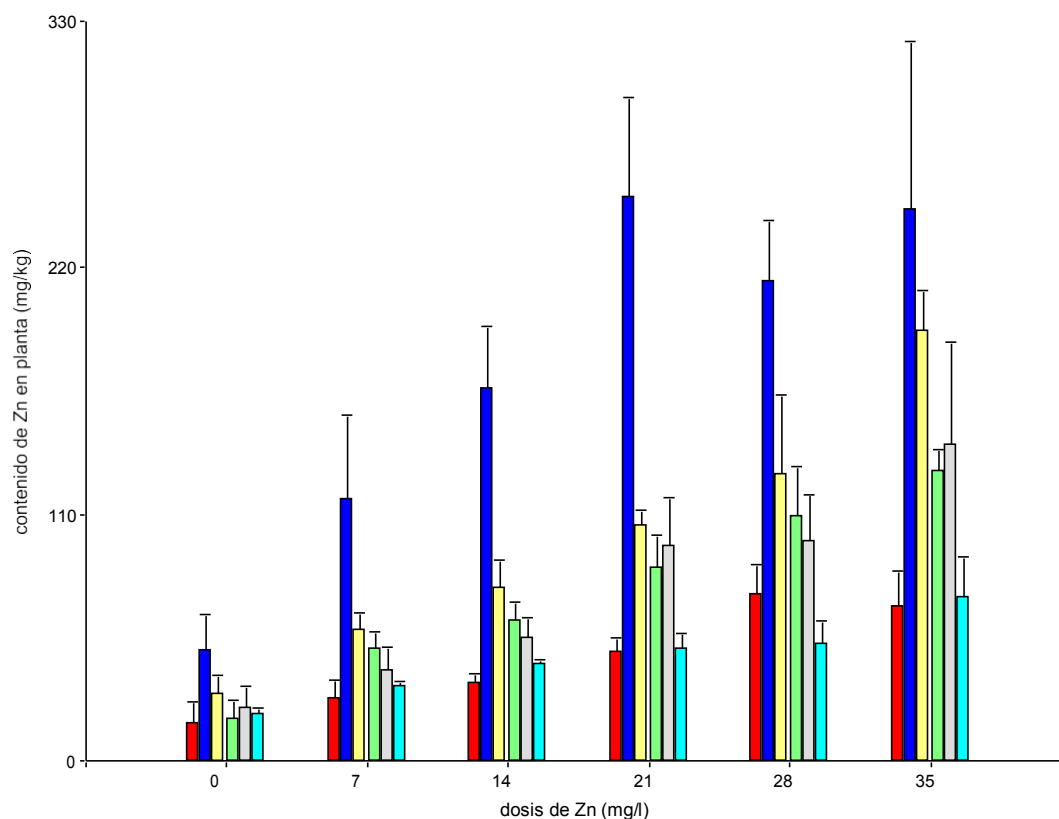


Figura 1: Contenido de zinc en planta según las dosis de fertilización de zinc aplicada en seis series de suelos de la región centro de la provincia de Córdoba.

Nota: Azul: General Cabrera; amarillo: Olaeta; verde: Oncativo; rojo: Barranca Yaco; gris: Sacanta; celeste; San Francisco.

La producción de biomasa (gr MS) según las dosis crecientes aplicadas de fertilizante (Zn) para cada serie de suelo muestra que la respuesta no es creciente positiva. Barranca Yaco, Sacanta, San Francisco (5,53-5,49-4,83 gMS respectivamente) presentaron mayor producción promedio

en función de las dosis aplicadas (0-7-14-21-28-35 mg/l). Olaeta, General Cabrera y Oncativo presentaron la menor respuesta promedio a la fertilización (3,81-2,75-1,83 gMS). Se observó que la mayor producción de biomasa para cada serie de suelo no coincide con la mayor dosis de fertilizante aplicada. Podríamos pensar que existe algún/os factor/es que determinen esta condición (Figura 2).

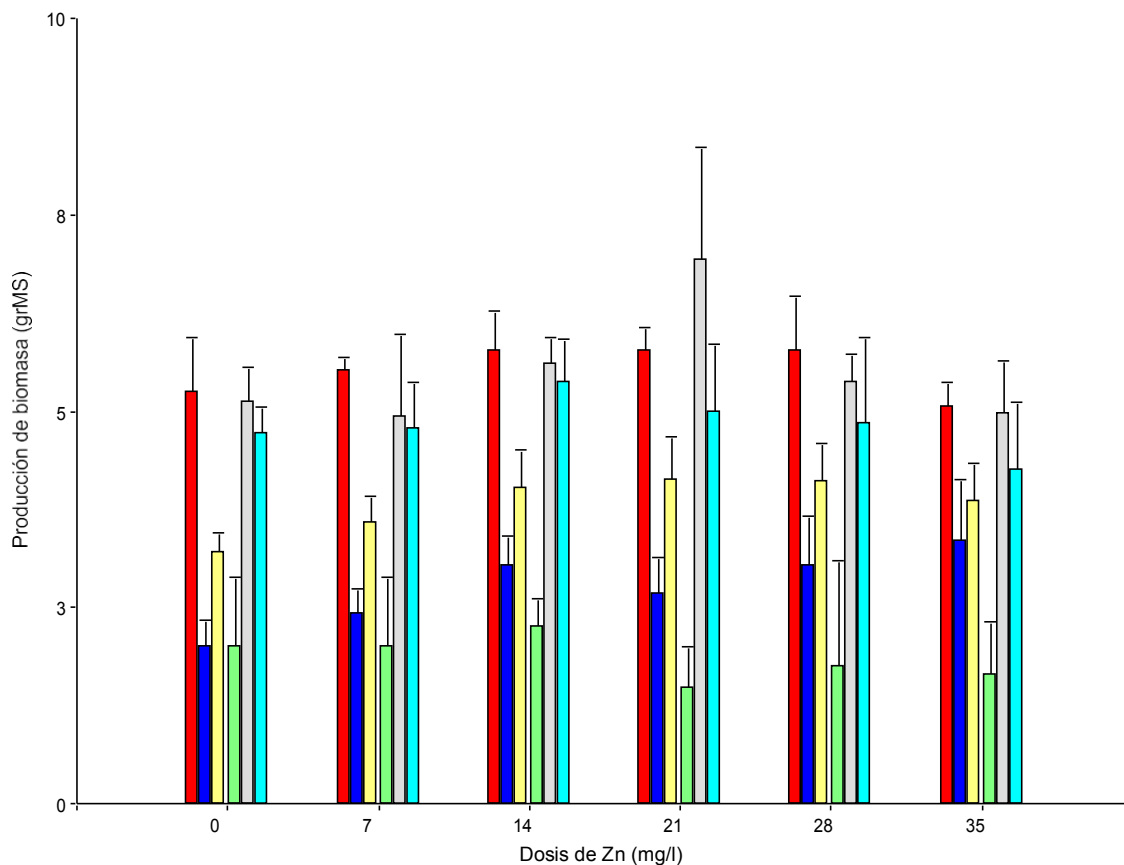


Figura 2: Producción de materia seca (grMS) para cada dosis aplicada con fertilizante de Zinc para cada serie de suelo de la provincia de Córdoba.

Nota: azul: General Cabrera; amarillo: Olaeta; verde: Oncativo; rojo: Barranca Yaco; gris: Sacanta; celeste: San Francisco.

La relación del contenido de Zn en planta (mg/kg) y la producción de biomasa área muestra que General Cabrera presentó un promedio de Zn en planta de 173,9mg/kg y su producción de biomasa promedio fue de 2,75gMS; Olaeta con un contenido promedio de Zn en planta de 98,38 mg/kg y 3,8 grMS de producción de biomasa. Sacanta presentó un promedio en producción de biomasa de 1,8 grMS y un contenido de Zn en planta de 75,54 mg/kg. Oncativo con un promedio de Zn en planta de 75,4 mg/kg y un promedio de producción de biomasa de 5,49grMS. San Francisco y Barranca Yaco presentaron un contenido promedio de Zn en planta de 45,38 y 45,21 mg/kg respectivamente y una producción promedio de biomasa 4,38 y 5,53 grMS respectivamente. Se observó que los suelos que presentaron mayor promedio en producción de biomasa son los que presentaron menor contenido promedio de zinc en planta.

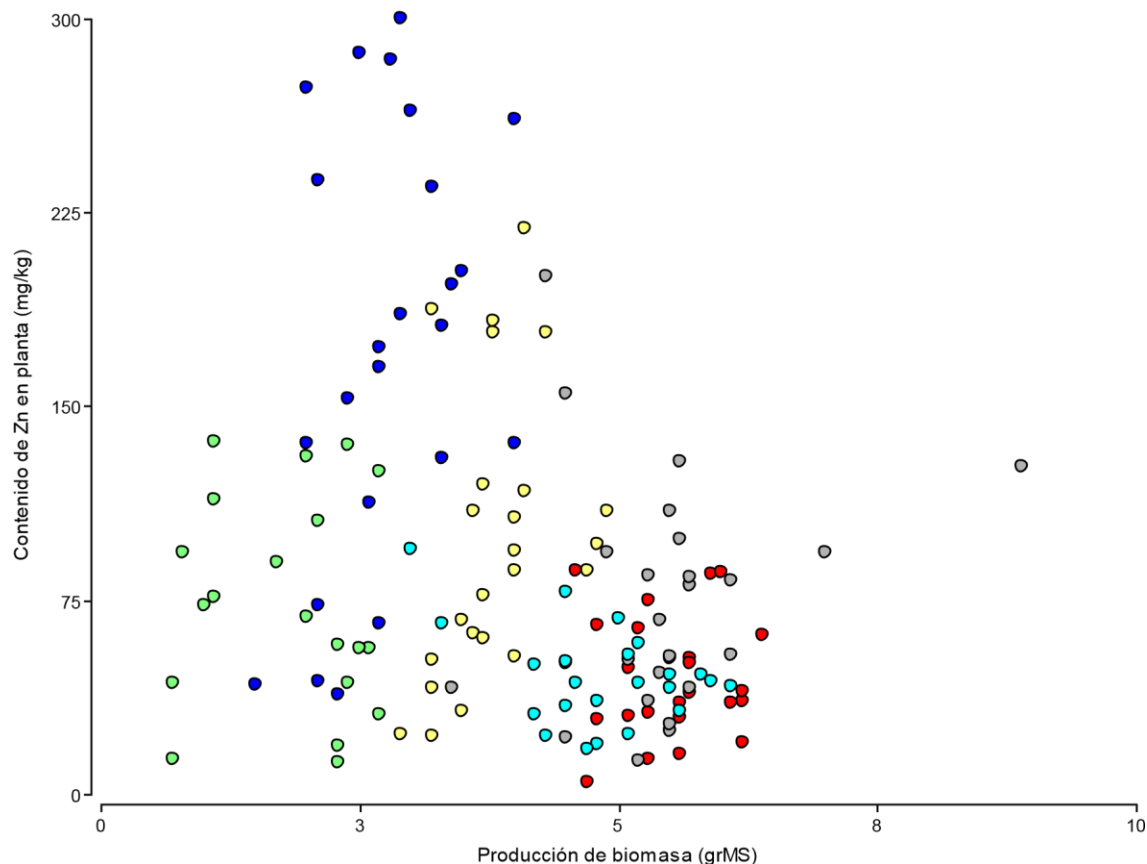


Figura 3: Diagrama de dispersión para el contenido de Zinc en planta (mg/hg) en función de la producción de biomasa (grMS) obtenido para cada serie de suelo.

Nota: azul: General Cabrera; amarillo: Olaeta; verde: Oncativo; rojo: Barranca Yaco; gris: Sacanta; celeste: San Francisco.

Mediante un Análisis de Componentes Principales y su gráfico biplot se observó a partir de la componente principal 1 (CP1) (que explica un 66,4% de la variabilidad total) que existe una posible respuesta respecto a la fertilización con Zn en cada serie de suelo. La CP2 (que explica el 26,0% de la variabilidad total) permitió observar que General Cabrera y Oncativo se asocian positivamente al contenido de Zn en planta y negativamente a la producción de biomasa. Sacanta, San Francisco y Barranca Yaco se asoció al contenido de Zn en suelo y producción de biomasa y negativamente a la producción de biomasa (Figura 4).

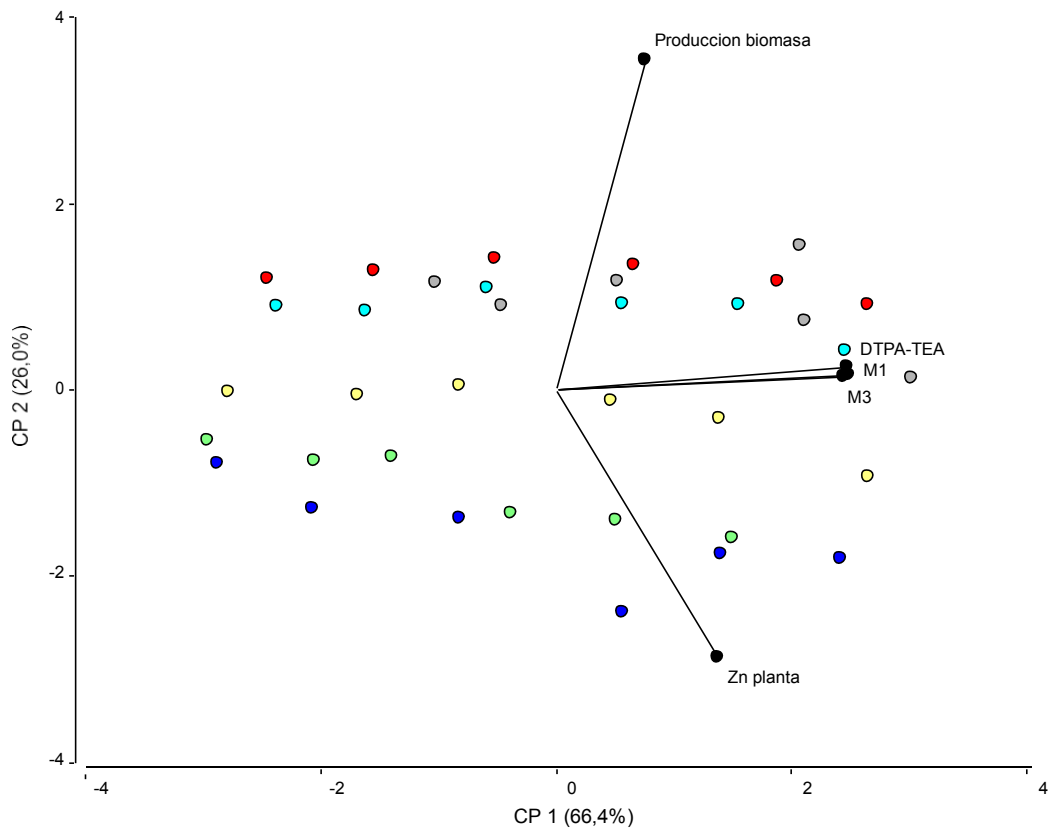


Figura 4: Gráfico biplot del Análisis de Componentes Principales para las variable, suelos, Zn en planta, extractantes (Mehelich-1, Mehelich-3 y DTPA-TEA) y producción de biomasa.

Nota: azul: General Cabrera; amarillo: Olaeta; verde: Oncativo; rojo: Barranca Yaco; gris: Sacanta; celeste: San Francisco.

Sobre la CP1 (que explica el 58,4% de la variabilidad total) existe una relación entre el contenido de Zinc en planta y el contenido de arena total. Los suelos asociados a estas variables son General Cabrera y Olaeta. San Francisco y Barranca Yaco asociadas a las variables edáficas representativas como el contenido de arcilla y la MOS. Sacanta se asoció al contenido de zinc en suelo. Esto se correlaciona con los resultados de la tabla 2 (tabla 2)

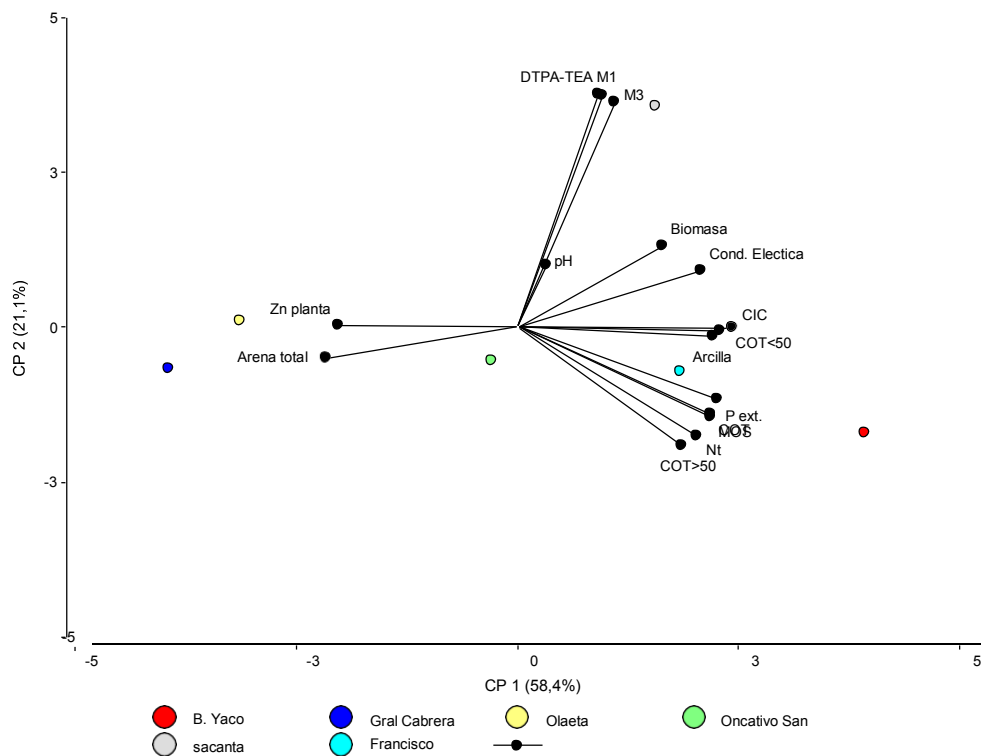


Figura 5: Gráfico biplot resultado del ACP para las variables características edáficas de cada serie de suelo (Conductividad eléctrica, CIC, COT<50, arcilla, arena total, COT>50, MOS, Nt, pH; Zn en planta, extractantes: Mehlich-1, Mehlich-3 y DTPA-TEA).

Nota: azul: General Cabrera; amarillo: Olaeta; verde: Oncativo; rojo: Barranca Yaco; gris: Sacanta; celeste: San Francisco.

Estudio de la relación del contenido de Zn en planta a la fertilización con Zinc

Se ajustó una regresión lineal simple para la variable dependiente $y=Zn$ contenido en planta donde todas las series de suelo respondieron a la fertilización con zinc. Barranca Yaco y San Francisco presentaron pendientes similares por lo que su respuesta es similar siendo estas las de menor respuesta de Zinc en planta con respecto a los demás series. Oncativo y Sacanta presentan respuesta similar. Olaeta y General Cabrera presentaron la mayor respuesta a la fertilización con Zinc medida en planta (tabla 3). Gráficamente se puede observar la respuesta del contenido de Zn en planta a la fertilización con diferentes dosis de Zn (0-7-14-21-28-35 mg/l) (Figura6).

Tabla 3: Estimación de la respuesta a la fertilización con Zinc para seis series de suelo de la provincia de Córdoba.

serie de suelo	Respuesta a la fertilización de Zn		
	Tasa de cambio (mg/l)	LI (95%)	LS (95%)
Barranca Yaco	1,69*	1,29	2,08
San Francisco	1,32*	1	1,64
Oncativo	3,06*	2,65	3,47
Sacanta	3,26*	2,45	4,07
Olaeta	4,28*	3,57	4,98
General Cabrera	5,55*	3,8	7,29

*indica respuesta estadísticamente significativa (pvalor <0.05)

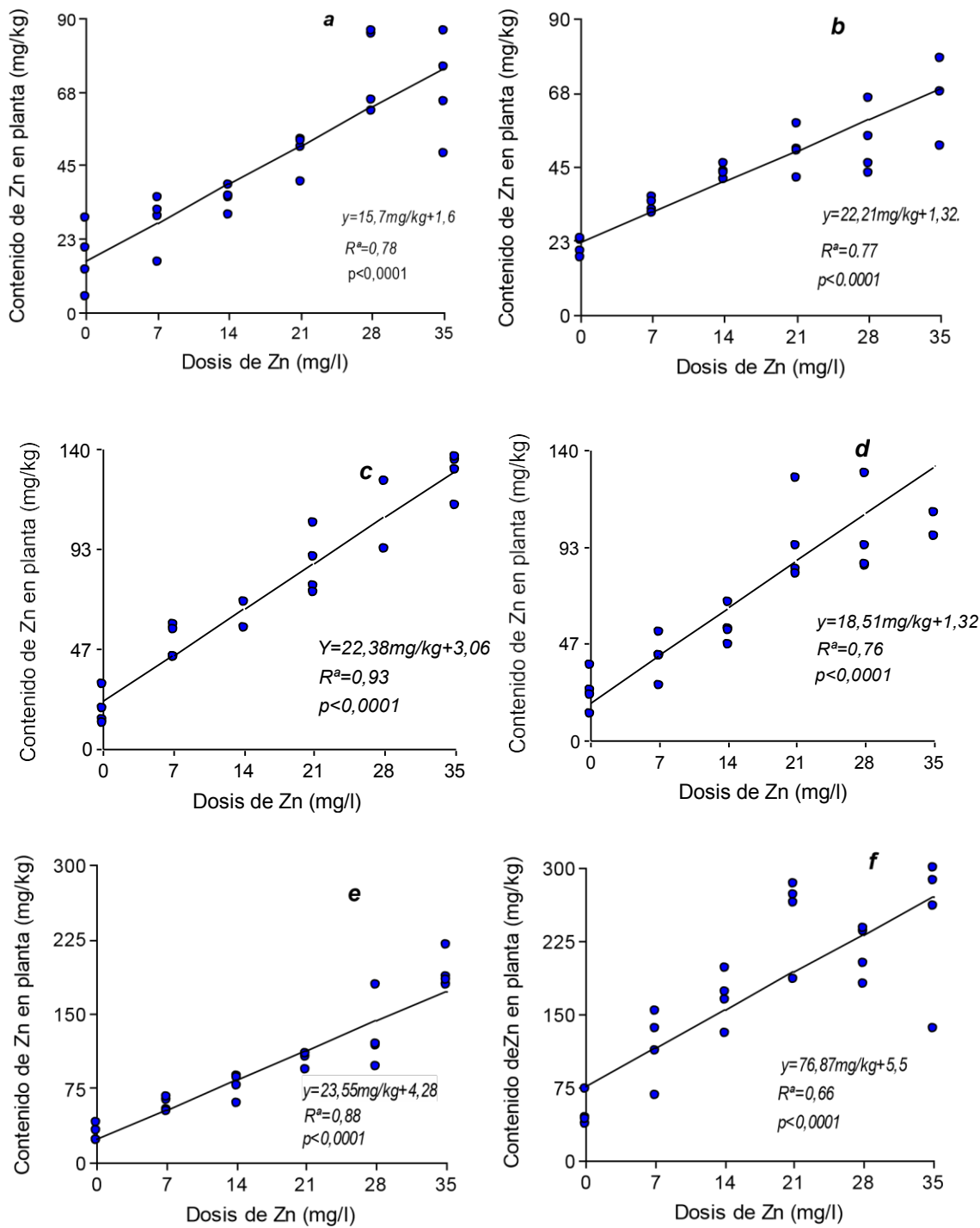


Figura 6: Relación entre el contenido de Zn en planta (mg/kg) y las dosis aplicadas de fertilizante (0-7-14-21-28-35 mg/l) para cada serie de suelo. Referencias: a: Barranca Yaco; b: San Francisco; c: Oncativo; d: Sacanta; e: Olaeta; f: General Cabrera.

Estudio de la relación del contenido de Zinc en suelo respecto a la fertilización con Zinc

Se ajustó una regresión lineal simple para la variable dependiente y =contenido de Zn en suelo. Se encontró respuesta significativa a la fertilización con Zinc. Barranca Yaco y San Francisco presentaron una respuesta similar siendo las dos series con más contenido de Zinc en suelo (1,25 y 1,19 mg/kg respectivamente), seguido por Olaeta y General Cabrera (1,14 y 1,10 mg/kg respectivamente). Sacanta y Oncativo presentaron los más bajos valores de zinc en el suelo (0,91 y 0,99 mg/kg respectivamente) (Tabla 4). Gráficamente se puede observar la respuesta del contenido de Zn en planta a la fertilización con diferentes dosis de Zn (0-7-14-21-28-35 mg/l) (Figura6).

Tabla 4: Respuesta a la fertilización con Zn y el contenido de Zinc en suelo para seis series de suelo de la provincia de Córdoba.

Serie de suelo	Respuesta a la fertilización de Zn		
	Estimación (mg/l)	LI (95%)	LS (95%)
Barranca Yaco	1,25*	1,18	1,32
San Francisco	1,19*	1,12	1,27
Oncativo	0,99*	0,92	1,07
Sacanta	0,91*	0,79	1,04
Olaeta	1,14*	1,07	1,21
General Cabrera	1,10*	1,02	1,18

*indica respuesta estadísticamente significativa (pvalor 0,05)

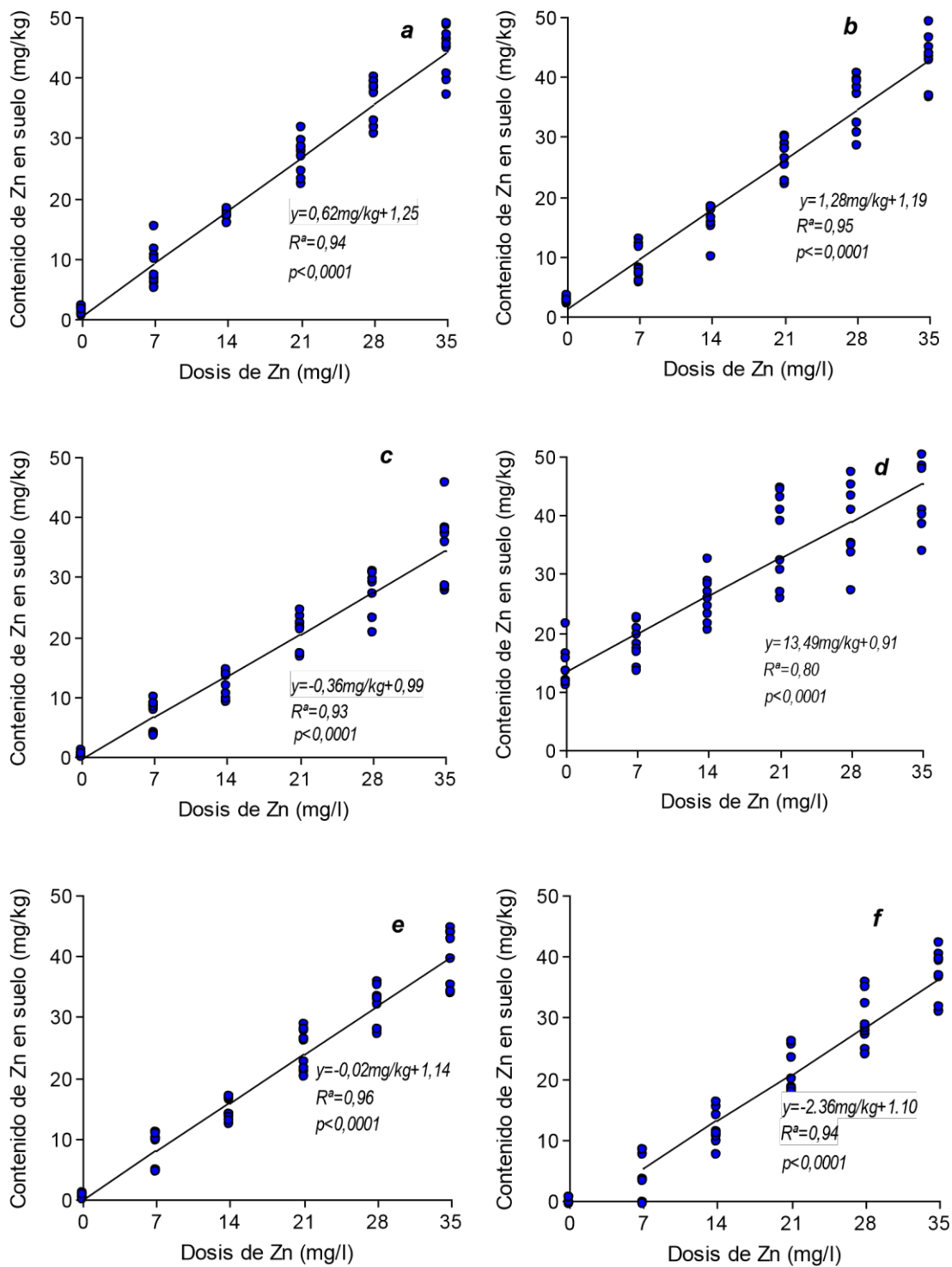


Figura 7: Respuesta del contenido de Zn en suelo (mg/kg) a la aplicación de las dosis de fertilizante (0-7-14-21-28-35 mg/l). Referencias: a: Barranca Yaco; b: San Francisco; c: Oncativo; d: Sacanta; e: Olaeta; f: General Cabrera.

CONCLUSIÓN

Los resultados permitieron concluir que existe una respuesta a la fertilización con Zinc para cada serie de suelo en el cultivo de Maíz. Es importante entender esa respuesta a la aplicación de fertilizante ya que cada suelo responde de manera diferente en función a las características edáficas. Conocer los parámetros edáficos, textura, estructura, balance entre oferta y demanda de macro y micro nutrientes de cada suelo permite elaborar un diagnóstico correcto que se adecue a las necesidades propias de estos.

BIBLIOGRAFÍA

- Andriulo, A., J. Galantini, F. Abrego y F. Martinez. 1996. Exportación y balance edáfico de nutrientes después de 80 años de Agricultura. XII Congreso Latinoamericano de Ciencia de Suelo. Aguas de Lindoia, SP, Brasil.
- Aspiazú I. 2004. Extração de ferro e manganês por Mehlich-1, Mehlich-3 e DPTA em solos de Minas Gerais e da Bahia. Tese Magister Scientiae. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 49 pp.
- Balzarini M., Di Rienzo J., Tablada M., Gonzales L., Bruno C., Córdoba M., Robledo W., Casanoves F. 2012. Estadística y Biometría- Ilustraciones del Uso de Infostat en Problemas de Agronomía. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina, Capítulo 6.
- Buffa, E.V., y Ratto, S.E. 2005. Disponibilidad de cinc, cobre, hierro y manganeso extraíble con DTPA en suelos de Córdoba (Argentina) y variables edáficas que la condicionan. Ciencia del Suelo 23:107-114.
- Campo Argentina. 2002. Fertilización con Zinc en Cereales. En: www.compo.com.ar/notas/zn<http://www.compo.com.ar/notas/zn-cereales.doc>. Consultado: 25-10-2016.
- Flores C.C. y Sarandón S.J. 2009. ¿Racionalidad económica versus sustentabilidad ecológica? El ejemplo del costo oculto de la pérdida de fertilidad del suelo durante el proceso de Agriculturización en la Región Pampeana Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata 105 (1). ISSN 0041-8676.
- Ratto, S. E. y F. H. Miguez. 2005. Zinc en el cultivo de maíz, deficiencia de oportunidad. En: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/3D2EF1F58D7E213805257268004D56B5/\\$file/Zinc+en+el+Cultivo+de+Maíz,+Deficiencia+de+Oportunidad.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/3D2EF1F58D7E213805257268004D56B5/$file/Zinc+en+el+Cultivo+de+Maíz,+Deficiencia+de+Oportunidad.pdf). Consultado: 15-01-2016.
- Ratto, S. e I. Mizuno. 1991. Respuesta del maíz al agregado de Zinc en ensayo de invernáculo. XIII Congreso Argentino de la ciencia del Suelo.
- Ratto, S. y L. Giuffré. 1997. Relación P/Zn en cultivo de maíz. Actas de VI Congreso Nacional de Maíz, AIANBA (II) 190-195.

Sillampaa M. 1982. Micronutrient and the nutrient status of soil. A global study: FAO. Roma. Bull. 48:169-179.

Vázquez, M y A. Fancelli. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Editora Vázquez, M. Micronutrientes en la Agricultura. Diagnóstico y fertilización en la Argentina. La experiencia brasilera. 1ª edición. 11-22 p.

Vázquez, M y A. Scheid Lopes. 2006. Micronutrientes, la experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica. Editora Vázquez, M. Micronutrientes en la Agricultura. Diagnóstico y fertilización en la Argentina. La experiencia brasilera. 1ª edición. 45 – 61 p.

Yool Rosales E.R. 2001. Determinación de niveles críticos de fósforo y potasio en cuatro soluciones extractoras, a nivel de invernadero, en suelos de la zona cañera sur de Guatemala. Tesis Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala, 56 pp.

Anexo

E:\Fernanda_Zn\original y resumen\planta-original.IDB2 : 09/11/2016 - 01:38:41
p.m. - [Versión : 26/01/2016]

Análisis de regresión lineal

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
B. Yaco	Zn (mg/kg)	24	0,78	0,77	153,37	187,82	191,35

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows		VIF				
const	15,70	4,04	7,32	24,08	3,89	0,0008
dosisreal	1,69	0,19	1,29	2,08	8,85	<0,0001
75,96	1,00					

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9757,20	1	9757,20	78,32	<0,0001
dosisreal	9757,20	1	9757,20	78,32	<0,0001
Error	2740,79	22	124,58		
Total	12497,99	23			

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Gral Cabrera	Zn (mg/kg)	24	0,66	0,65	2939,05	259,18	262,72

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows		VIF				
const	76,87	17,86	39,83	113,92	4,30	0,0003
dosisreal	5,55	0,84	3,80	7,29	6,58	<0,0001
42,45	1,00					

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	105496,42	1	105496,42	43,29	<0,0001
dosisreal	105496,42	1	105496,42	43,29	<0,0001
Error	53612,14	22	2436,92		
Total	159108,56	23			

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Olaeta	Zn (mg/kg)	24	0,88	0,87	478,13	215,57	219,11

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows		VIF				
const	23,55	7,20	8,61	38,48	3,27	0,0035
dosisreal	4,28	0,34	3,57	4,98	12,59	<0,0001
152,55	1,00					

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	62714,33	1	62714,33	158,39	<0,0001
dosisreal	62714,33	1	62714,33	158,39	<0,0001
Error	8710,91	22	395,95		
Total	71425,25	23			

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Oncativo	Zn (mg/kg)	20	0,93	0,93	147,09	156,51	159,49

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows		VIF				
const	22,38	4,09	13,78	30,98	5,47	<0,0001
dosisreal	3,06	0,19	2,65	3,47	15,71	<0,0001
234,83 1,00						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	29768,52	1	29768,52	246,76	<0,0001
dosisreal	29768,52	1	29768,52	246,76	<0,0001
Error	2171,48	18	120,64		
Total	31939,99	19			

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
sacanta	Zn (mg/kg)	24	0,76	0,75	657,86	222,41	225,94

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows		VIF				
const	18,51	8,30	1,29	35,73	2,23	0,0363
dosisreal	3,26	0,39	2,45	4,07	8,32	<0,0001
67,24 1,00						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	36428,44	1	36428,44	69,20	<0,0001
dosisreal	36428,44	1	36428,44	69,20	<0,0001
Error	11581,22	22	526,42		
Total	48009,66	23			

Suelo	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
San Francisco	Zn (mg/kg)	24	0,77	0,76	102,96	177,79	181,33

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor
CpMallows		VIF				
const	22,21	3,28	15,42	29,01	6,78	<0,0001
dosisreal	1,32	0,15	1,00	1,64	8,56	<0,0001
71,12 1,00						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6009,90	1	6009,90	73,26	<0,0001
dosisreal	6009,90	1	6009,90	73,26	<0,0001
Error	1804,76	22	82,03		
Total	7814,66	23			

E:\Fernanda_Zn\otras tablas\extractablereg.IDB2 : 09/11/2016 - 16:43:36 -
[Versión : 17/06/2015]

Análisis de regresión lineal

suelos	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Barranca Yaco	Zn suelo	54	0,96	0,96	9,30	273,30	279,27

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
VIF							
const	0,62	0,71	-0,80	2,04	0,88	0,3832	
dosis	1,25	0,03	1,18	1,32	37,48	<0,0001	1379,24
1,00							

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	12057,33	1	12057,33	1404,73	<0,0001
dosis	12057,33	1	12057,33	1404,73	<0,0001
Error	446,34	52	8,58		
Total	12503,67	53			

suelos	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Gral. Cabrera	Zn suelo	54	0,94	0,93	13,25	292,63	298,59

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
VIF							
const	-2,36	0,85	-4,06	-0,67	-2,80	0,0072	
dosis	1,10	0,04	1,02	1,18	27,61	<0,0001	749,05
1,00							

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9360,30	1	9360,30	762,41	<0,0001
dosis	9360,30	1	9360,30	762,41	<0,0001
Error	638,41	52	12,28		
Total	9998,71	53			

suelos	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Olaeta	Zn suelo	54	0,96	0,95	9,67	275,45	281,42

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
VIF							
const	-0,02	0,72	-1,47	1,43	-0,03	0,9800	
dosis	1,14	0,03	1,07	1,21	33,52	<0,0001	1103,45
1,00							

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10036,76	1	10036,76	1123,63	<0,0001
dosis	10036,76	1	10036,76	1123,63	<0,0001
Error	464,49	52	8,93		
Total	10501,25	53			

suelos	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Oncativo	Zn suelo	54	0,93	0,92	12,76	289,98	295,95

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows
VIF							
const	-0,36	0,82	-2,01	1,30	-0,43	0,6673	

dosis	0,99	0,04	0,92	1,07	25,55	<0,0001	641,38
	1,00						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	7629,62	1	7629,62	652,67	<0,0001
dosis	7629,62	1	7629,62	652,67	<0,0001
Error	607,87	52	11,69		
Total	8237,49	53			

suelos	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Sacanta	Zn suelo	54	0,80	0,80	32,90	342,06	348,02

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
	VIF						
const	13,49	1,34	10,81	16,17	10,10	<0,0001	
dosis	0,91	0,06	0,79	1,04	14,49	<0,0001	207,08
	1,00						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6440,31	1	6440,31	210,02	<0,0001
dosis	6440,31	1	6440,31	210,02	<0,0001
Error	1594,58	52	30,66		
Total	8034,88	53			

suelos	Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
San Francisco	Zn suelo	54	0,95	0,95	11,33	284,24	290,21

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI (95%)	LS (95%)	T	p-valor	CpMallows
	VIF						
const	1,28	0,78	-0,29	2,85	1,63	0,1081	
dosis	1,19	0,04	1,12	1,27	32,34	<0,0001	1027,02
	1,00						

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10992,08	1	10992,08	1045,73	<0,0001
dosis	10992,08	1	10992,08	1045,73	<0,0001
Error	546,59	52	10,51		
Total	11538,68	53			

