

Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de suelos

Carlomagno Salazar-Calvo¹, Anyelo Moya-García², José P. González Venegas³, Heiner Rodríguez-Díaz⁴ y Daniel Corrales-Valverde⁵.

RESUMEN

Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de suelos. En el desarrollo de estudios cartográficos de suelo a gran escala, es de suma importancia contar con métodos de muestreo y medición eficientes que permitan un uso eficaz de los recursos y obtener resultados de calidad. Se realizó una comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de la fertilidad de suelos del cantón de Alvarado, un método de muestra compuesta y un método puntual de una sola muestra. No se obtuvo diferencia entre los métodos de muestreo cuando se analizaron las variables pH, K, Ca, Mg, Acidez Extraíble (Ac. Ext.), P, Fe, Cu, Zn, Mn, Suma de Bases (SB), Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE), Saturación de Acidez (SA) y Materia Orgánica (MO); al tomar en cuenta la incertidumbre de la medición para cada variable, determinada por el laboratorio de suelos del INTA. Se encontró diferencia en cuanto al tiempo requerido para realizar cada método de muestreo ($P < 0,001$), en donde la realización del método de cuarteo tardó 170,32 s más que el método puntual o simple. Además, el método simple generó un ahorro de ₡151 100 000 en comparación con el método compuesto.

Palabras clave: Métodos, muestreo, medición, fertilidad.

INTRODUCCIÓN

Entender la variabilidad del suelo se ha vuelto un reto importante en la planificación del sistema de producción agrícola y su manejo. Los análisis de suelos definen a través de un conjunto de determinaciones, su constitución y contenido en elementos minerales disponibles para los cultivos. En consecuencia, ofrecen al agricultor la posibilidad de aportar al suelo la cantidad y calidad necesaria de elementos nutritivos. (Dembele *et al.* 2016).

Si se desea estudiar alguna de las propiedades del suelo, la estimación generalmente se realiza con base al promedio de un número determinado de muestras analizadas en campo y en laboratorio (Sánchez *et al.* 2003). Sin embargo,

estas propiedades presentan gran variabilidad en el espacio (superficie y profundidad), por lo que el proceso del muestreo se convierte en un punto crucial para obtener resultados confiables (Buduba 2004).

Uno de los métodos más utilizados para estudio de la fertilidad del suelo es el del cuarteo, el cual consiste en la conformación de una muestra mediante la combinación de varias submuestras (Buol *et al.* 2011). Por lo general, en campo se depositan las submuestras sobre una manta o bolsa, se mezclan y se van cuarteando en forma de X hasta dejar una cantidad equivalente a 500 g. Para este tipo de muestreo, es importante considerar la topografía del terreno a estudiar,

1,2,3,4,5. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria INTA. Costa Rica.
Contacto: csalazar@inta.go.cr. Sede del INTA, Ochomogo, Cartago.

Recepción: 23.03.2018. Aceptación: 28.10.2019.

ya que entre más uniforme sea el área de estudio, menor será la variabilidad en los resultados (Tan 2005). Dentro de otros factores a tomar en cuenta a la hora de muestrear para determinar la fertilidad del suelo están la erosión, el color, la vegetación y las diferencias de manejo como tipo de labranza, fertilizaciones, rotaciones y tipo de cultivo. Por otro lado, se debe tener cuidado de no muestrear cerca de corrales, caminos y sectores de carga y descarga de fertilizantes (Cunningham *et al.* 2017).

En el caso de los cultivos extensivos e intensivos, los análisis del suelo se realizan de una manera más intensificada ya que es necesario asegurar la calidad del suelo e incrementar la productividad de los cultivos. Bajo un sistema agrícola intensivo, los análisis de fertilidad se realizan cada 3 a 5 años o en cada ciclo de rotación (FAO 2004). El momento ideal para esta labor es cuando se dispone de suficiente tiempo para efectuar un buen muestreo, generalmente después de una cosecha y antes de cualquier fertilización (Ribeiro *et al.* 2015).

El método de cuarteo ofrece la ventaja de incrementar la precisión mediante el uso de varias unidades muestrales en la conformación de la muestra a analizar (Landon 2014). Sin embargo, este tipo de esquema de muestreo puede ser contraproducente a la hora de realizar mapas de fertilidad a gran escala, debido a su alta demanda en cuanto a tiempo y costo (Dembele *et al.* 2016).

Es importante considerar los objetivos propuestos, a la hora de realizar un muestreo de fertilidad de suelos, para definir la metodología a seguir. En la determinación de la fertilidad de una finca productiva es necesario un método más preciso, en donde se disminuya la variabilidad y se supla el requerimiento nutricional de los cultivos de la manera más exacta posible (Osorio y Casamitjana 2011). Por otra parte, en el caso de los proyectos a gran escala en donde se busca cartografiar los suelos de un país, el método de muestreo debería ser más eficiente en cuanto al aprovechamiento de los recursos y el tiempo disponible (Schweizer 2010).

La escogencia de un esquema de muestreo apropiado para un estudio cartográfico de suelo a nivel macro, es crucial ya que cada método de muestreo varía en cuanto a representatividad y tiempo de realización. Debido a la necesidad de contar con un método de muestreo que pueda reducir el tiempo de trabajo en campo, reducir costos de muestreo y que genere información de calidad (representatividad de la muestra) en los estudios cartográficos de suelo realizados a gran escala, se fijó como objetivo general del trabajo el determinar si el método de un solo punto puede ser un método alternativo al método de cuarteo, en el estudio de la fertilidad del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el cantón de Alvarado, provincia de Cartago, Costa Rica (Figura 1). Las muestras de suelo fueron procesadas en el laboratorio de suelos del INTA en Ochomogo, Cartago.

Cuadro 1. Georreferenciación de los cateos realizados.

Id cateo	Longitud	Latitud	Altura	Id cateo	Longitud	Latitud	Altura
1	-83.82099	9.948551	2427	22	-83.819402	9.951056	2479
2	-83.820767	9.948351	2420	23	-83.819836	9.951554	2491
3	-83.8204	9.947889	2405	24	-83.819218	9.951942	2492
4	-83.817214	9.942845	2264	25	-83.820342	9.951267	2487
5	-83.816382	9.942807	2256	26	-83.820339	9.950504	2470
6	-83.816057	9.942944	2256	27	-83.81357	9.944761	2260
7	-83.815865	9.942381	2235	28	-83.815843	9.967476	2816
8	-83.814581	9.940745	2177	29	-83.80995	9.964292	2698
9	-83.814499	9.94027	2166	30	-83.809984	9.964193	2695
10	-83.813912	9.94046	2164	31	-83.810059	9.960554	2605
11	-83.820321	9.94702	2386	32	-83.811951	9.95696	2547
12	-83.819415	9.947201	2387	33	-83.817638	9.950445	2442
13	-83.819934	9.948568	2422	34	-83.818196	9.949715	2435
14	-83.814127	9.942167	2202	35	-83.818662	9.949597	2438
15	-83.81418	9.942914	2214	36	-83.819391	9.949119	2433
16	-83.815118	9.941907	2212	37	-83.813472	9.944747	2260
17	-83.815502	9.941418	2206	38	-83.815666	9.967406	2810
18	-83.813455	9.93994	2153	39	-83.814143	9.966994	2780
19	-83.813731	9.939491	2145	40	-83.809987	9.960302	2600
20	-83.813108	9.939228	2138	41	-83.811953	9.956761	2543
21	-83.819391	9.951048	2479	42	-83.81927	9.950577	2467

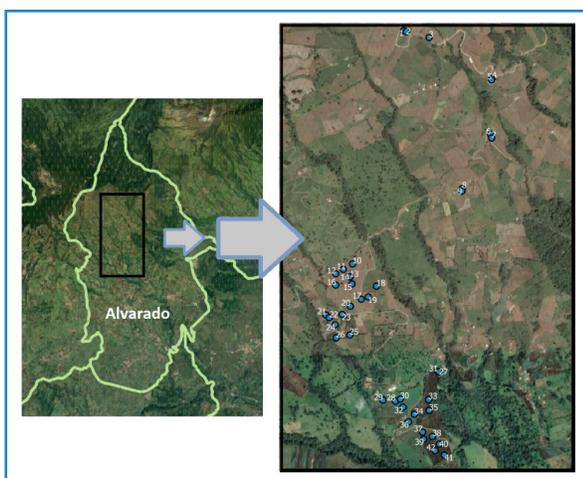


Figura 1. Puntos de muestreo realizados en el cantón de Alvarado, Cartago.

Las muestras fueron tomadas de diferentes fincas y se realizaron 42 puntos de muestreo en total. En cada punto se tomó una muestra por método de muestreo: método simple o puntual y otra utilizando el método de cuarteo (Figura 2). Se georreferenciaron todos los puntos con la ayuda de un GPS Garmin Montana 680. Una vez tomadas las muestras, éstas fueron almacenadas en bolsas plásticas debidamente identificadas.

Para cada punto de muestreo se llenó una boleta en donde se anotó el tiempo de duración del muestreo, coordenadas geográficas y tipo de muestreo empleado. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos en donde se les realizó un análisis químico completo, además, se realizó un análisis para la determinación de la MO de cada muestra.

El método de cuarteo se realizó tomando cuatro sub-muestras con la ayuda de un barreno Edelman. Las sub-muestras se tomaron en los cuatro puntos cardinales a 5 m del punto georreferenciado (Figura 2). Las sub-muestras fueron depositadas en un saco

y se les realizó el cuarteo necesario hasta obtener aproximadamente 500 g de muestra (Figura 3).

En el caso del método simple, se tomaron aproximadamente 300 g de suelo con la ayuda de un barreno Edelman.

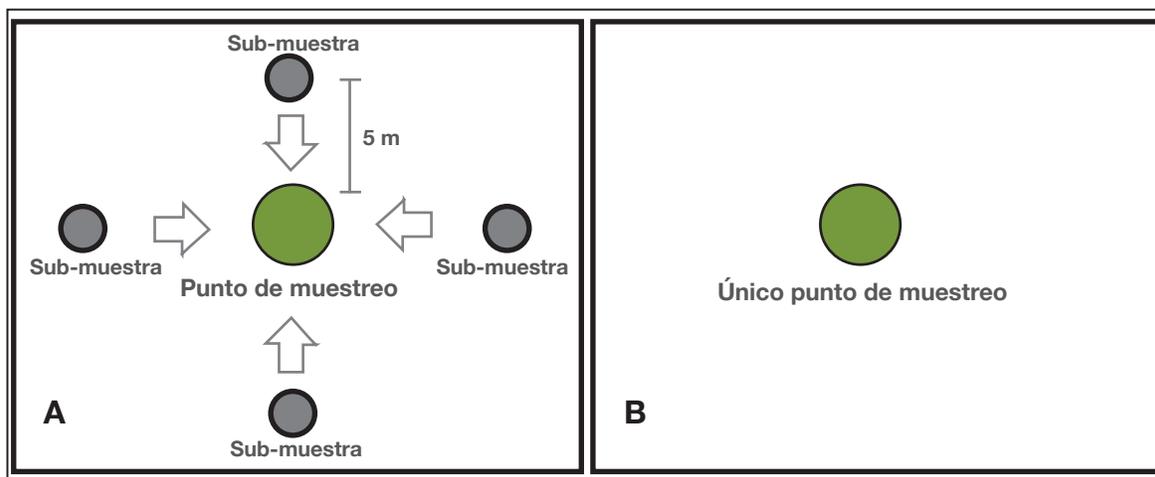


Figura 2. Métodos de muestreo de fertilidad de suelo empleados. A. Método de cuarteo: conformación de la muestra con cuatro sub-muestras. B. Método simple o puntual: toma de la muestra de un único punto.

De acuerdo con el diseño del muestreo, la distribución de los puntos se realizó siguiendo la metodología de mapeo libre, mismo método utilizado para el diseño del muestreo del proyecto de cartografía de suelos (PCS) de los cantones costeros de Costa Rica.

El levantamiento libre de suelos se refiere al método por el cual se crean mapas del tipo área-clase-polígono, en donde el investigador es libre de escoger los puntos de muestreo de tal forma que se pueda confirmar sistemáticamente el modelo mental de las relaciones suelo-paisaje, por lo tanto, dibuja límites y determina la composición de la unidad de mapeo (McBratney *et al.* 2018). En este tipo de estrategia de muestreo, la experiencia del reconocedor cumple un papel muy importante en la definición de la distribución de los puntos de muestreo en el área de interés. Siguiendo este enfoque, algunas áreas pueden tener muy pocas observaciones si se considera que el patrón espacial del suelo puede ser predicho fácilmente y otras áreas (áreas problema) pueden ser muestreadas a detalle por lo que se busca una mayor densidad de observaciones para una mejor representatividad de dichas localidades (Masters 2012).

Además, la planificación de la distribución de los puntos de muestreo bajo un esquema de mapeo libre, se refuerza con la ayuda de la técnica de fotointerpretación (definición de puntos de acceso, zonas agrícolas y zonas boscosas), análisis de pendientes mediante modelos de elevación digital, utilización de capas vectoriales de caminos y ríos, imágenes satelitales y mapas geológicos (Brus y de Gruijter 1997) based on classical sampling theory, to the model-based approach, which is based on geostatistics. However, in design-based sampling, independence has a different meaning and is determined by the sampling design, whereas in the model-based approach it is determined by the postulated model for the process studied. Design-based strategies are therefore also valid in areas with autocorrelation. Design-based and model-based estimates of spatial means are compared in a simulation study on the basis of the design-based quality criteria. The simulated field consists of four homogeneous units that are realizations of models with different means, variances and variograms. Performance is compared for two sample sizes (140 and 1520).

Para el análisis estadístico se utilizó el programa R (R for Statistical Computing-Versión 1.0.153). Se realizó un análisis exploratorio de todas las variables con el fin de determinar si cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las variables analizadas fueron: pH, K, Ca, Mg, Ac. Ext, P, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, CICE, SA y MO. Además, se analizó el tiempo tardado para tomar la muestra con cada método como otra variable.



Figura 3. Cuarteo de una muestra compuesta en campo.

Se realizó un análisis de varianza para determinar las diferencias entre las variables estudiadas, de acuerdo con el método de muestreo. Las medias se compararon con el método de diferencia mínima significativa de Fisher (LSD) con un nivel de significancia menor a 0,05 de probabilidad.

Por último, se realizó un análisis económico para comparar los costos asociados al uso de cada uno de los métodos analizados, durante un proyecto cartográfico de suelos a nivel macro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias asociadas principalmente al método de muestreo utilizado, asociadas con el tiempo que se tardó en realizar cada uno de los procedimientos (Cuadro 2). Se encontró una diferencia de 170,32 segundos (2,83 minutos) en el tiempo promedio tardado entre un método y otro, empleándose la mayor cantidad de tiempo para el método de cuarteo (Cuadro 2).

Lo anterior se debe a que el método de cuarteo requiere tomar cuatro sub-muestras en el punto georreferenciado para poder conformar la muestra que posteriormente será enviada al laboratorio. Por otra parte, con el método simple únicamente se ocupa tomar una sola sub-muestra (que será la muestra), lo que evidencia que el método de cuarteo requiere invertir mayor cantidad de tiempo.

Dikko *et al.* (2010) resaltan la diferencia entre un método y el otro, al indicar que el método simple, de una sola extracción de suelo, es utilizado en trabajos de investigación y en suelos muy homogéneos.

Se recomiendan cuatro puntos de muestreo por hectárea, de aproximadamente 1 kg de suelo cada una. El método de cuarteo o compuesto, se refiere a la muestra de suelo obtenida por la extracción de varias sub-muestras. El método del cuarteo es más utilizado para la planificación de la fertilización en fincas productivas, en donde se necesita información de calidad para cumplir con los requerimientos nutricionales de los cultivos. Se recomiendan de 15 a 20 sub-muestras por parcela de muestreo (Martín *et al.* 2017).

Se obtuvieron diferencias en cuanto al método de muestreo para las variables acidez extraíble (Ac Ext.), P, Fe, Cu, Zn y Mn (Cuadro 3). Las diferencias se descartaron al tomar en cuenta la incertidumbre en la estimación del valor para cada variable registrada por el laboratorio de suelos del INTA (Figura 4; observar traslape de barras de error). Las barras de error se ajustaron de acuerdo con los valores de las incertidumbres facilitado por el laboratorio de suelos del INTA.

Cuadro 2. Resumen del análisis estadístico de las variables estudiadas.

Método/Variable	Cuarteo		Simple		ANOVA
	Media	D.E	Media	D.E	p
SB	2,52	1,46	2,49	1,40	0,9131
CICE	2,83	1,44	2,71	1,33	0,3169
SA	13,18	10,07	11,46	9,62	0,2031
MO	13,69	1,11	13,72	1,03	0,8999
Tiempo	193,25	30,4	22,93	9,84	<0,001

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que, a nivel de las variables del análisis de suelo en los puntos muestreados, no existe diferencia significativa entre los métodos de muestreo analizados. Se pueden utilizar ambos métodos de muestreo a nivel de campo, para los estudios cartográficos de suelo. Sin embargo, para futuros estudios que quieran diferenciar ambos métodos, es importante que se tomen en cuenta otros factores como el orden de suelo, el relieve y el uso actual del suelo, dado que éstos pueden influir considerablemente en los valores que se determinen en los análisis de suelo y afectar la definición de la fertilidad del suelo, incurriendo en un error importante que debe ser tomado en cuenta a la hora de definir un esquema de muestreo adecuado.

Según sea la dimensión de un estudio cartográfico de suelos, es crucial seleccionar el método que mejor se adapte al presupuesto y al periodo de tiempo estipulado para realizar dicho proyecto. Dembele *et al.* (2016) menciona que, en el caso de cultivos intensivos, como hortalizas y ornamentales, es recomendable muestrear áreas menores a 2 ha. Por otro lado, en cultivos extensivos como arroz, pasto y banano, se pueden tomar muestras cada 5-10 ha. Por último, en áreas extensas sin fertilizar y homogéneas en su manejo, puede ser suficiente una muestra cada 10-20 ha.

Cuadro 3. Análisis estadístico de las variables estudiadas.

Método/ Variable	Cuarteo		Simple		ANOVA	D.LAB
	Media	D.E	Media	D.E	p	
pH	5,72	0,39	5,75	0,4	0,717	0-5%
K	0,23	0,16	0,24	0,16	0,676	10-15%
Ca	1,99	1,19	1,95	1,17	0,739	10-15%
Mg	0,31	0,21	0,3	0,19	0,867	10-15%
Ac. Ext.	0,33	0,22	0,26	0,13	0,02586	20-25%
P	39,73	16,28	30,25	9,34	0,00203	25-30%
Fe	137,65	66,18	110,65	60,32	0,004168	25-30%
Cu	11,38	2,01	10,05	2,02	0,00434	15-20%
Zn	4,47	1,48	3,76	1,69	0,048	20-25%
Mn	11,35	3,91	9,18	3,92	0,015	15-20%

El método de cuarteo puede ser una excelente opción en caso de que se desee conocer la fertilidad de los suelos de una finca o parcela productiva. No obstante, para lograr conocer los datos de fertilidad en un estudio de suelos a mayor escala, por cuestiones de rendimiento y rapidez de muestreo, la mejor opción sería el método simple.

Actualmente, el Proyecto de Cartografía de Suelos del INTA (PCS), tiene por objetivo muestrear

los suelos de todos los cantones costeros de Costa Rica y es necesario que en cada punto de muestreo se obtenga una muestra para análisis de fertilidad. Se tiene proyectado, que serán necesarios 127.750 puntos de muestreo (Cuadro 4), como el número de puntos es muy grande, es necesario poder reducir al máximo los tiempos de muestreo, por lo tanto, el método simple parece ser el que mejor se adapta a la necesidad de dicho proyecto.

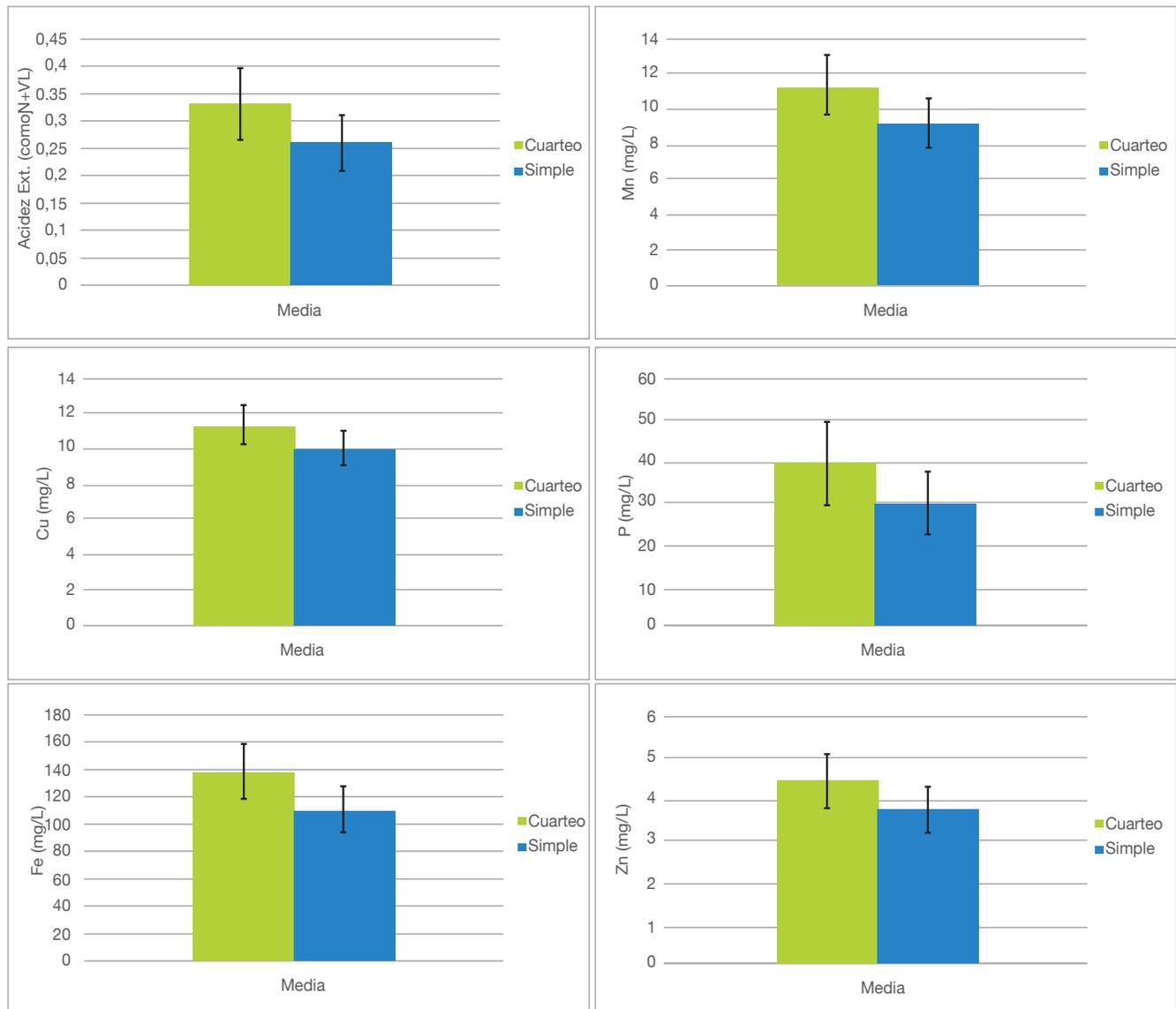


Figura 4. Variables que pierden la significancia estadística a la hora de ajustar los valores a la incertidumbre del laboratorio del INTA. Las variables fueron: Ac Ext., Mn, Cu, P, Fe y Zn.

Para un proyecto como el PCS, es de suma importancia considerar el costo operativo de la realización del muestreo. En el Cuadro 4, se muestra el costo operativo total para el método de cuarteo (¢171 440 000) y para el método simple (¢20 340 000); por lo tanto, al optar por la metodología simple, el proyecto estaría generando un ahorro de ¢151 100 000.

Cuadro 4. Costos Operativos según método de muestreo

Área de Costa Rica (km²)	51 100
Área Cantones Costeros (km²)	25 550
Barrenazos/km²	5
Total de Barrenazos (25 550 km²)	127 750
Costo de hora profesional	¢25 000 ≈ \$45*

	Método de Muestreo	
	Cuarteo	Simple
Tiempo de muestreo (s)	193,24	22,93
Tiempo total de muestreo (horas)	6857,6 (286 días)	813,6 (34 días)
Jornadas laborales (8 h)	857 (2,3 años)	102 (0,3 años)
Costo (colones)	¢171 440 000 ≈ \$303 434	¢20 340 000 ≈ \$36 000
Diferencia de costo	¢151 100 000 ≈ \$267 434	

*Tipo de cambio en el momento de la conversión: ¢565.

LITERATURA CITADA

Brus, DJ; de Gruijter, JJ. 1997. Random sampling or geostatistical modelling? Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil (with discussion). *Geoderma* 80(1):1-44. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00072-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00072-4).

Buduba, C. 2004. Muestreo de suelos. Criterios básicos. *Patagonia Forestal* (1):9-12.

Buol, SW; Southard, RJ; Graham, RC; McDaniel, PA. 2011. *Soil Genesis and Classification*. John Wiley & Sons. Iowa, USA. 544 p.

Cunningham, SC; Roxburgh, SH; Paul, KI; Patti, AF; Cavagnaro, TR. 2017. Generating spatially and statistically representative maps of environmental variables to test the efficiency of alternative sampling protocols. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 243:103-113.

Dembele, D; Traore, K; Quansh, C; Jnr, EMO; Sire, BD; Ballo, M. 2016. Optimizing soil fertility management decision in mali by remote sensing and GIS. *Donnish Journals* 3(4):22-34.

Dikko, A; Abdullahi, A; Ousseini, M. 2010. Soil fertility assessment of The Lugu Main Canal Of Wurno Irrigation Project, Sokoto State, Nigeria, five years after rehabilitation. *Nigerian Journal of Basic and Applied Sciences* 18(2): 243-248.

FAO. 2004. *Fertilidad de suelos: conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible*. 19 p.

Landon, JR. 2014. *Booker tropical soil manual: a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Routledge. New York, USA. 474 p.

Martín, MA; Reyes, M; Taguas, FJ. 2017. Estimating soil bulk density with information metrics of soil texture. *Geoderma* 287:66-70.

Masters, B. 2012. Australian Soil and Land Survey Field Handbook, 3rd edition. vol.37. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2012.02363.x>.

McBratney, AB; Minasny, B; Stockmann, U. 2018. *Pedometrics* (en línea). s.l., Springer International Publishing, (Progress in Soil Science). Consultado 19 nov. 2018. Disponible en [//www.springer.com/us/book/9783319634371](http://www.springer.com/us/book/9783319634371).

Osorio, W; Casamitjana, M. 2011. Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo. *Suelos Ecuatoriales* 41(1):23-28.

Ribeiro, AA; Adams, C; Manfredini, S; Aguilar, R; Neves, WA. 2015. Dynamics of soil chemical properties in shifting cultivation systems in the tropics: a meta-analysis (en línea). *Soil Use and Management* 31(4):474-482. Consultado 16 ene 2018. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12224>

Sanchez, PA; Palm, CA; Buol, SW. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114(3):157-185.

Schweizer Lassaga, S. 2010. Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad. San José, Costa Rica. INTA/MAG: 18 p.

Tan, KH. 2005. Soil sampling, preparation, and analysis. CRC press. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos de América. p. 9-10.