



Red Nacional
de Laboratorios
de Suelos de Chile
RENALASCH

Ronda de intercomparación analítica: Resultados 2/2025

RED NACIONAL DE LABORATORIOS DE SUELOS DE CHILE

Reporte / N°002





Red Nacional
de Laboratorios
de Suelos de Chile
RENALASCH

Ronda de intercomparación analítica: Resultados 2/2025

Editores:

Fabio Corradini Santander,

Dr. MSc. Ingeniero Agrónomo

María de los Ángeles Sepúlveda Parada,

MSc. Bioquímica

Yasna Peña Plaza,

Químico Industrial

Santiago, Chile, 2026

Reporte N°002

Editores:

Fabio Corradini Santander, Ingeniero Agrónomo, MSc., Dr., INIA La Platina
María de los Ángeles Sepúlveda Parada, Bioquímico, MSc., Universidad de Concepción
Yasna Peña Plaza, Químico Industrial, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso

Comité editor:

Prof. Floria Bertsch, Ingeniero Agrónomo, MSc., Universidad de Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo

Reporte N°002**Número de registro propiedad intelectual: 2026-P-12335****Cita bibliográfica correcta:**

Corradini, F, M Sepúlveda, Y Peña. 2026. Ronda de Intercomparación Analítica: Resultados 2/2025.
Reporte N°002. Red Nacional de Laboratorios de Suelos de Chile. Santiago, Chile. 150p.

©2026.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y autores.

Diseño y diagramación: Ricardo Anfibio S.

Santiago, Chile, 2026.

Índice

Prólogo	5
1 Introducción	7
1.1 Objetivo de la propuesta	7
1.2 Muestras	7
1.3 Participación	8
1.4 Analitos y métodos	10
1.5 Identificación de los laboratorios	10
1.6 Análisis de datos	12
2 Fertilidad	17
2.1 pH en agua	17
2.2 pH en $CaCl_2$	23
2.3 pH en KCl	29
2.4 Carbono orgánico, analizador elemental	35
2.5 Carbono orgánico calcinación	41
2.6 Carbono orgánico Walkley & Black	47
2.7 Conductividad eléctrica	51
3 Macronutrientes	55
3.1 Nitrógeno total, Dumas	55
3.2 Nitrógeno Kjeldahl	61
3.3 Nitrógeno disponible	65
3.4 Fósforo Olsen	69
3.5 Azufre Disponible	75
4 Cationes extraíbles	79
4.1 Calcio Extraíble	79
4.2 Magnesio Extraíble	85
4.3 Potasio Extraíble	89
4.4 Sodio Extraíble	95

4.5	Aluminio Extraíble	101
5	Micronutrientes	107
5.1	Boro disponible	107
5.2	Cobre disponible	111
5.3	Manganeso disponible	115
5.4	Hierro disponible	119
5.5	Zinc disponible	123
6	Textura	129
6.1	Arena	131
6.2	Limo	135
6.3	Arcilla	139
7	Ideas finales	143
8	Laboratorios Participantes	149

Prólogo

El suelo constituye un recurso estratégico para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, la conservación del medio ambiente y los organismos que los conforman, así como para la resiliencia frente al cambio climático. En este contexto, fortalecer la gestión sostenible del suelo representa una contribución directa al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), particularmente aquellos relacionados con el hambre cero, la acción por el clima, la protección de los ecosistemas terrestres y la producción sostenible. Por lo anterior, la calidad de la información analítica que proveen los laboratorios de suelos adquiere relevancia y, un rol fundamental, ya que representa la base sobre la cual se generan diagnósticos, recomendaciones, programas de conservación y políticas públicas orientadas a la gestión sostenible del recurso suelo.

La generación de datos confiables requiere no sólo de la armonización de metodologías y de su correcta aplicación, sino que también de sistemas de aseguramiento de la calidad que permitan garantizar la comparabilidad y reproducibilidad de los resultados entre laboratorios. Las rondas interlaboratorios constituyen una de las herramientas más relevantes para evaluar el desempeño analítico. Son oportunidades de mejora trascendentales para el fortalecimiento de las capacidades técnicas de esta red de laboratorios, cuyo espíritu siempre ha sido el de la superación mediante la colaboración y la capacitación.

Los resultados obtenidos en los ejercicios anteriores han permitido evidenciar avances importantes en el desempeño de los laboratorios, pero también hemos detectado desafíos significativos que requieren de nuestro compromiso constante. Dentro de los desafíos detectados encontramos altas variabilidades observadas en determinaciones de micronutrientes, por ejemplo. Estos resultados refuerzan la necesidad de continuar avanzando hacia nuevos espacios de reflexión, análisis y consenso orientados a una mayor armonización metodológica, fortaleciendo la capacidad técnica de la red para contribuir a mejorar los

resultados año a año.

Asimismo, este ejercicio ha reafirmado el enorme valor de la colaboración entre laboratorios. Más allá de evaluar el desempeño, estas instancias permiten generar espacios de crecimiento personal y grupal a nivel interno. Además, permite construir una comunidad que poco a poco es conocida y apreciada por diferentes instituciones del ámbito público y privado. Nos basamos en el aprendizaje continuo y colectivo, el intercambio de experiencias y el apoyo entre instituciones para lograr la consolidación de nuestra red y así enfrentar el análisis de suelo ante un escenario marcado por la necesidad de respuestas rápidas, confiables, actualizadas e innovadoras. Cada análisis de suelo que se realiza representa una pieza dentro de un sistema de información que impacta directamente la gestión agrícola, la conservación de ecosistemas y la formulación de políticas públicas orientadas a la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental, de ahí la importancia de continuar comprometidos con la calidad de nuestro trabajo.

María de los Ángeles Sepúlveda P.

Presidenta RENALASCH

01 de julio de 2026

Capítulo 1

Introducción

1.1 Objetivo de la propuesta

En esta tercera oportunidad, nos planteamos como objetivo evaluar el desempeño de los laboratorios de la red con énfasis particular en suelos de reacción ácida. Como siempre, mantenemos nuestra intención de fortalecer las redes de apoyo y estimulación para una permanente mejora en la calidad analítica de los laboratorios de Chile, incentivados por la iniciativa GLOSOLAN de la FAO y sus redes asociadas.

En esta oportunidad, logramos autogestionar el ejercicio completamente de ayuda externa al montar una plataforma que garantiza el anonimato de todos los laboratorios participantes. Nuestra idea, en este ensayo 2/2025 fue continuar en el diagnóstico de las metodologías que empleamos, con el horizonte claro de levantar antecedentes para cuando estos sean requeridos en la implementación de nuevos instrumentos de gestión agrícola y ambiental.

1.2 Muestras

La ronda de intercomparación que ahora reportamos consideró tres muestras de suelo de distintas características, sin incluir una muestra de referencia. Las muestras fueron secadas, tamizadas y homogenizadas en el Laboratorio de Suelos de INIA La Platina y dispuestas en frascos de 500cm³ para su despacho a los participantes. Las muestras CQI-4, XSP-5 y YBM-3 corresponden al horizonte superficial de las series de suelo Maule (1) y Osorno (2), que a su vez corresponden a los órdenes Alfisol y Andisol. Las texturas corresponden a arcillosa, franco limosa y franco arcillosa para las muestras CQI-4, XSP-5 e YBM-3, respectivamente, de acuerdo a los valores aceptados de los análisis del ejercicio.

1.3 Participación

En esta oportunidad, participaron un total de 27 laboratorios en el ejercicio analítico. No todos los laboratorios participantes reportaron el total de los analitos solicitados. El Cuadro 1.1 presenta el número de analitos reportados por muestra y por laboratorio. Llama la atención que, en esta oportunidad, ningún laboratorio haya reportado resultados para todos los analitos solicitados para cada una de las tres muestras. Algunos laboratorios indicaron, informalmente, que el volumen de muestra enviado no fue suficiente para poder realizar todas las evaluaciones, siendo esto un problema, sobre todo para la determinación de textura. Esto habrá de tomarse en cuenta en futuros ejercicios.

Cuadro 1.1. Datos de participación: número de registros totales por analito y muestra (N), número de laboratorios participantes por analito (Lab.) y número de muestras reportadas (Mts.¹)

Analito	N	Lab.	Mts.
pH en agua 1/2,5 (—)	222	25	75
pH en CaCl 0,01M 1/2,5 (—)	149	17	50
pH en KCl 1M 1/2,5 (—)	129	15	44
Conductividad Electrica 1/5 (dS/m)	171	19	57
Carbono Orgánico elemental (g/Kg)	81	9	27
Carbono Orgánico calcinación (%)	85	10	30
Carbono Orgánico Walkley & Black (%)	162	18	54
Nitrógeno elemental (g/Kg)	81	9	27
Nitrógeno Kjeldahl (%)	92	11	32
Nitrógeno disponible (mg/kg)	98	11	33
Fósforo Olsen (mg/kg)	207	23	69
Azufre disponible (mg/kg)	148	17	50
Calcio extraible (cmol+/kg)	189	21	63
Magnesio extraible (cmol+/kg)	189	21	63
Potasio extraible (cmol+/kg)	207	23	69
Sodio extraible (cmol+/kg)	189	21	63
Aluminio extraible (cmol+/kg)	102	12	34
Cobre disponible (mg/kg)	180	20	60
Manganeso disponible (mg/kg)	189	21	63
Hierro disponible (mg/kg)	183	21	61
Zinc disponible (mg/kg)	180	20	60
Boro disponible (mg/kg)	174	20	58
Arcilla (%)	66	9	26
Limo (%)	66	9	26
Arena (%)	66	9	26

¹ No considera las repeticiones de cada muestra.

1.4 Analitos y métodos

La selección de los analitos a determinar en la ronda de intercomparación analítica se llevó a cabo mediante una encuesta dirigida a todos los laboratorios participantes. Este proceso permitió identificar los parámetros de mayor interés y relevancia para la comunidad analítica, asegurando que la evaluación comparativa refleje las necesidades y prioridades del sector. Para este ejercicio, se mantuvieron todos los métodos solicitados en la ronda anterior (2/2024), añadiendo en esta oportunidad la determinación de nitrógeno disponible.

Los métodos analíticos exigidos para cada analito corresponden a las metodologías recomendadas para el análisis de suelos en Chile, previamente publicados por la Comisión Nacional de Acreditación de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. El Cuadro 1.2 presenta el detalle de los métodos solicitados y la fecha de publicación de las metodologías.

1.5 Identificación de los laboratorios

Recibimos las planillas con los informes de resultados de cada laboratorio mediante un aplicación web alojada en el sitio web de RENALASCH que garantiza el anonimato de los participantes. Mediante la aplicación, los participantes pueden enviar sus planillas de resultados sin dejar ningún registro de usuario. La aplicación, luego asigna un código único a cada laboratorio que en este informe utilizamos para que cada laboratorio pueda reconocer, de forma interna, su propio desempeño.

Con el objetivo de evitar inconvenientes en el proceso de envío y carga de resultados, así como de corregir errores identificados durante la ronda inter laboratorios anterior, realizó una capacitación orientada a fortalecer el correcto reporte de la información analítica. Esta instancia permitió aclarar dudas frecuentes, estandarizar criterios de ingreso de datos y reforzar aspectos técnicos asociados a la correcta entrega de resultados, contribuyendo así a mejorar la calidad, consistencia y trazabilidad de la información reportada por los labo-

Cuadro 1.2. Métodos solicitados para la determinación de cada analito y unidades a reportar.

Analito	Ref. método	Unidades
Fertilidad		
pH en agua 1/2,5	3.1 INIA 2006	—
pH en CaCl 0,01M 1/2,5	3.1 INIA 2006	—
pH en KCl 1M 1/2,5	3.1 INIA 2006	—
Carbono orgánico elemental	DUMAS	g/kg
Carbono orgánico calcinación	7.2 INIA 2006	%
Carbono orgánico Walkley & Black	7.1 INIA 2006	%
C.Electrica 1/5	9.2 INIA 2006	dS/m
Macronutrientes		
Nitrógeno elemental	DUMAS	g/kg
Nitrógeno Kjeldahl	14.1 INIA 2006	%
Fósforo Olsen	6.1 INIA 2006	mg/kg
Azufre disponible	8.1 INIA 2006	mg/kg
Cationes extraíbles		
Calcio extraíble	4.1 INIA 2006	cmol+/kg
Magnesio extraíble	4.1 INIA 2006	cmol+/kg
Potasio extraíble	4.1 INIA 2006	cmol+/kg
Sodio extraíble	4.1 INIA 2006	cmol+/kg
Aluminio extraíble	5.1 INIA 2006	cmol+/kg
Micronutrientes		
Boro disponible	11.1 INIA 2006	mg/kg
Cobre disponible	15.1 INIA 1990	mg/kg
Manganeso disponible	15.1 INIA 1990	mg/kg
Hierro disponible	15.1 INIA 1990	mg/kg
Zinc disponible	15.1 INIA 1990	mg/kg
Textura		
Arcilla	3.1 Sandoval et al. 2012	%
Limo	3.1 Sandoval et al. 2012	%
Arena	3.1 Sandoval et al. 2012	%

ratorios participantes. La información asociada a esta actividad se encuentra disponible en el sitio web.

El código anónimo que recibió cada laboratorio tiene formato 22025NN donde NN corresponde a un número del 7 al 36 que lo identifica. Como fue la primera vez que se implementó la plataforma, algunos laboratorios subieron planillas en duplicado, por lo que en la serie numérica del 7 al 36, hay números que no corresponden a ningún laboratorio: 8, 13, 32 y 34.

En el informe usamos los últimos dos dígitos del código asignado en cada laboratorio en gráficos, mientras que mantenemos el código completo en tablas y en el texto.

1.6 Análisis de datos

Los datos recibidos fueron consolidados en una sola hoja de cálculo, donde las columnas contenían los valores reportados para cada analito y las filas correspondían a las entradas por laboratorio, muestra y repetición. Los analitos que presentaron censura izquierda, es decir, aquellos cuyos valores reportados se encontraban por debajo de los límites de detección, fueron marcados como tales en una columna binaria (con censura o sin censura). Solo las evaluaciones de aluminio extraíble y boro disponible presentaron esta condición. La hoja de datos resultante contuvo 253 entradas para 25 variables.

Se determinó la media y la desviación estándar de cada analito para cada muestra, agregando los datos por laboratorio, además de los valores generales. La media fue determinada de acuerdo a la ecuación 1.1 y la desviación estándar de acuerdo a la ecuación 1.3. El cálculo tanto de la media como de la desviación estándar de los analitos que presentaron censura izquierda (aluminio extraíble y azufre disponible) se realizó mediante regresión sobre estadísticas de orden (Regression on Order Statistics, ROS).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

donde: (1.2)

$\bar{x}$ es la media estimada,

x_i es cada valor informado,

n es el número de observaciones.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.3)$$

donde:

s es la desviación estándar.

El cálculo del valor aceptado fue determinado de acuerdo a el estándar ISO 13528:2022¹. En particular, se utilizó un análisis robusto conocido como algoritmo A. Este algoritmo permite, por iteración, aceptar un valor para un analito dado ($\check{x}$) y su correspondiente desviación estándar ($\check{s}$) centrando valores extremos. Los valores iniciales de $\check{x}$ y $\check{s}$ son estimados a partir de la ecuación 1.4² y la ecuación 1.5. La iteración, comienza con los pasos indicados en las ecuaciones 1.7-1.10, utilizando un criterio de ajuste de una y media desviaciones estimadas (eq. 1.6). Se consideraron valores convergentes cuando la variación entre el valor estimado de una iteración y su antecesora varían menos de tres cifras significativas.

¹ISO 13528:2022. Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. (Ed. 3).

²Esta ecuación corresponde al cálculo de la mediana de los datos.

$$\check{x} = \begin{cases} x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} & \text{si } n \text{ es impar} \\ \frac{1}{2} \left(x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2} + 1\right)} \right) & \text{si } n \text{ es par} \end{cases} \quad (1.4)$$

donde:

$\check{x}$ es el valor aceptado,

x_i es el i -ésimo valor ordenado del conjunto de datos.

$$\check{s} = 1,483 \text{ mediana } (abs(x_i - \check{x})) \quad (1.5)$$

donde:

$\check{s}$ es la desviación estándar del valor aceptado.

$$\delta = 1,5 \check{s} \quad (1.6)$$

donde:

δ es el criterio de ajuste.

$$x' = \begin{cases} \check{x} - \delta & \text{cuando } x_i < \check{x} - \delta \\ \check{x} + \delta & \text{cuando } x_i > \check{x} + \delta \\ x_i & \text{todos los otros casos} \end{cases} \quad (1.7)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x'_i}{n} \quad (1.8)$$

$$s = 1,134 \sqrt{\frac{\sum_i^n (x'_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad (1.9)$$

Con los valores de $\bar{x}$ y s se calculó el valor de la unidad tipificada (z-score) para cada laboratorio y para cada analito, de acuerdo con la ecuación 1.10.

$$z = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}}{s} \quad (1.10)$$

donde:

z es el valor de la unidad tipificada.

En el reporte se presentan, por secciones, las medias y desviaciones estándar reportadas por cada laboratorio, la media y desviación estándar general, el valor aceptado y su desviación y el valor de la unidad tipificada, indicando con un '*' cuando este valor se encontraba a más de 2s de la media general y con un '**' cuando se encontraba a más de 3s de distancia. Para facilitar la redacción y la lectura del informe, en adelante referimos indistintamente como "valores fuera de rango" o "valores atípicos" a los valores informados que se ubican a más de 2s de la media general.



Capítulo 2

Fertilidad

2.1 pH en agua

La determinación del pH en agua en relación 1:2,5 fue la determinación con mayor participación de todos los analitos y metodologías solicitadas, con 26 laboratorios informando resultados. Del total de laboratorios informantes, un laboratorio no reportó las tres repeticiones solicitadas, por lo que no fue posible calcular su z -score. Aún sin z -score, a partir de los valores reportados, es posible observar que este laboratorio subestima enormemente la lectura de pH.

De los 25 laboratorios restantes, sólo un laboratorio reportó valores fuera de rango para las tres muestras, observándose una tendencia a subestimar el valor de pH. Además, un laboratorio presentó valores atípicos para la muestra XSP-5, y dos laboratorios presentan la misma situación para la muestra YBM-3. Ambos laboratorios presentan z -score positivos y negativos en sus resultados, lo que sugiere que no sobre o subestiman sistemáticamente sus resultados.

En la Ronda 2/2024 también se observaron 3 laboratorios que presentaban valores atípicos. Apesar de ser una metodología robusta, es necesario tener presente esta observación y mantener suelos control específicos para distintos rangos de pH, además de un adecuado manejo del equipamiento.

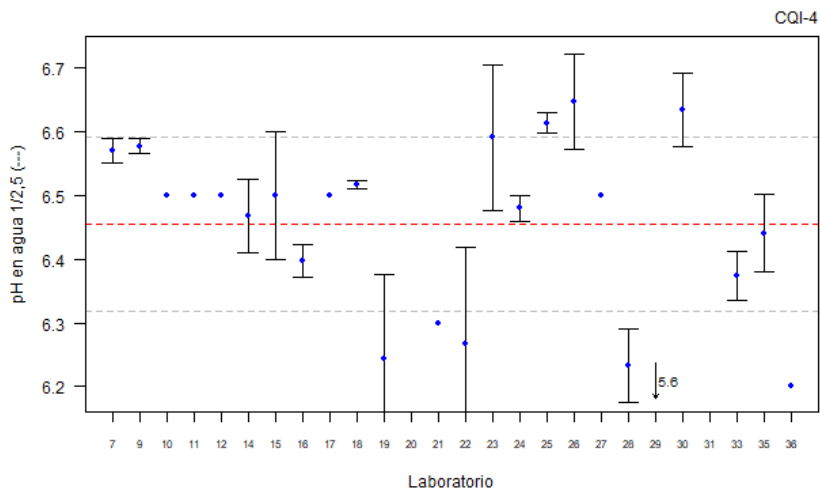


Figura 2.1.1. Valores reportados por cada laboratorio para pH en agua 1:2,5 en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

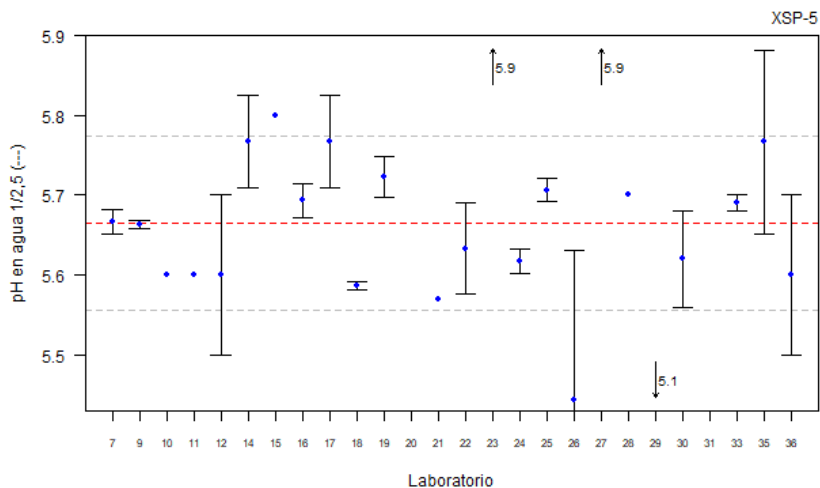


Figura 2.1.2. Valores reportados por cada laboratorio para pH en agua 1:2,5 en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

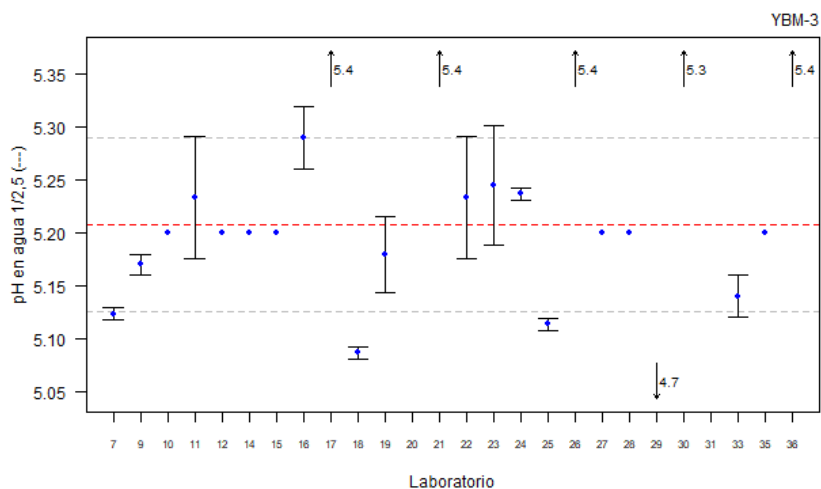


Figura 2.1.3. Valores reportados por cada laboratorio para pH en agua 1:2,5 en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 2.1. Media y desviación estándar de pH en agua 1:2,5 para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	6,57 ± 0,02	5,67 ± 0,02	5,12 ± 0,01
2202509	6,58 ± 0,01	5,66 ± 0,01	5,17 ± 0,01
2202510	6,50 ± 0,00	5,60 ± 0,00	5,20 ± 0,00
2202511	6,50 ± 0,00	5,60 ± 0,00	5,23 ± 0,06
2202512	6,50 ± 0,00	5,60 ± 0,10	5,20 ± 0,00
2202514	6,47 ± 0,06	5,77 ± 0,06	5,20 ± 0,00
2202515	6,50 ± 0,10	5,80 ± 0,00	5,20 ± 0,00
2202516	6,40 ± 0,03	5,69 ± 0,02	5,29 ± 0,03
2202517	6,50 ± 0,00	5,77 ± 0,06	5,37 ± 0,06
2202518	6,52 ± 0,01	5,59 ± 0,01	5,09 ± 0,01
2202519	6,24 ± 0,13	5,72 ± 0,03	5,18 ± 0,04
2202520			
2202521	6,30 ± 0,00	5,57 ± 0,00	5,42 ± 0,00*
2202522	6,27 ± 0,15	5,63 ± 0,06	5,23 ± 0,06
2202523	6,59 ± 0,11	5,92 ± 0,06*	5,24 ± 0,06
2202524	6,48 ± 0,02	5,62 ± 0,02	5,24 ± 0,01
2202525	6,61 ± 0,02	5,71 ± 0,02	5,11 ± 0,01
2202526	6,65 ± 0,08	5,44 ± 0,19*	5,43 ± 0,24*
2202527	6,50 ± 0,00	5,87 ± 0,06	5,20 ± 0,00
2202528	6,23 ± 0,06	5,70 ± 0,00	5,20 ± 0,00
2202529	5,60 ± 0,16**	5,12 ± 0,21**	4,66 ± 0,15**
2202530	6,63 ± 0,06	5,62 ± 0,06	5,35 ± 0,04
2202531	4,49±**	4,21±**	3,59±**
2202533	6,37 ± 0,04	5,69 ± 0,01	5,14 ± 0,02
2202535	6,44 ± 0,06	5,77 ± 0,12	5,20 ± 0,00
2202536	6,20 ± 0,00	5,60 ± 0,10	5,37 ± 0,06
Media	6,37 ± 0,38	5,62 ± 0,29	5,17 ± 0,31
C.V	0,06	0,05	0,06
Aceptado	6,45 ± 0,14	5,67 ± 0,11	5,21 ± 0,08
C.V.	0,02	0,02	0,02

Cuadro 2.2. Z-scores del pH en agua 1:2,5, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.84	0.01	1.03
2202509	0.89	0.02	0.46
2202510	0.33	0.60	0.10
2202511	0.33	0.60	0.31
2202512	0.33	0.60	0.10
2202514	0.09	0.93	0.10
2202515	0.33	1.24	0.10
2202516	0.43	0.26	1.00
2202517	0.33	0.93	1.93
2202518	0.45	0.72	1.47
2202519	1.55	0.53	0.34
2202520			
2202521	1.14	0.87	2.58
2202522	1.38	0.29	0.31
2202523	1.00	2.35	0.45
2202524	0.18	0.45	0.35
2202525	1.16	0.38	1.15
2202526	1.41	2.04	2.66
2202527	0.33	1.85	0.10
2202528	1.63	0.32	0.10
2202529	6.24	4.97	6.70
2202530	1.31	0.41	1.73
2202531	14.41	13.36	19.62
2202533	0.60	0.23	0.83
2202535	0.11	0.93	0.10
2202536	1.87	0.60	1.93



2.2 pH en CaCl_2

Apesar de que la determinación de pH en CaCl_2 no presenta una dificultad técnica distinta a la determinación de pH en agua, 10 laboratorios se abstuvieron de informar resultados. De los laboratorios restantes, tres laboratorios (18 %) presentaron z -scores mayores a 3 para al menos una muestra. Un cuarto laboratorio, reportó un valor sobrestimado a más de dos desviaciones estándar del valor aceptado para la muestra XSP-5.

En la Ronda 2/2024 sólo dos laboratorios presentaron valores a más de dos desviaciones de la media, además de existir un mayor número de laboratorios informantes para la metodología. A pesar de ser una metodología de implementación sencilla, pueden existir factores que alteran la medición. Por ejemplo, como el pH es dependiente de temperatura, la ausencia de compensación de temperatura automática del electrodo o acondicionamiento en el laboratorio pueden generar variabilidad. En este sentido, es importante notar que el laboratorio 2202531, presentó valores alterados para pH en CaCl_2 , pero no para pH en agua, lo que sugiere que no es un problema del equipo, sino de la implementación de la metodología.

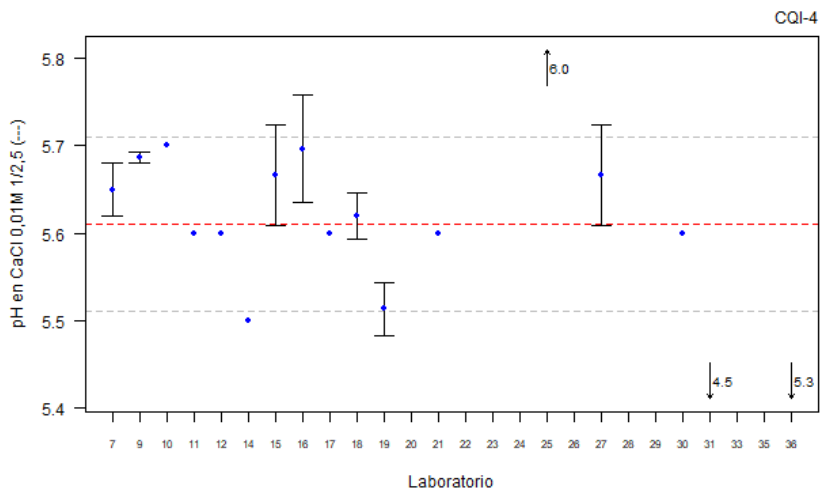


Figura 2.2.1. Valores reportados por cada laboratorio para pH en CaCl_2 0,01M 1:2,5 en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

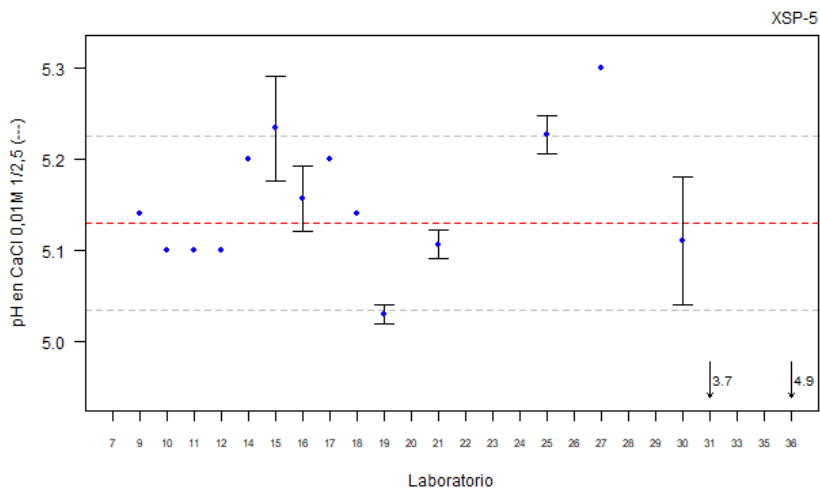


Figura 2.2.2. Valores reportados por cada laboratorio para pH en CaCl_2 0,01M 1:2,5 en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

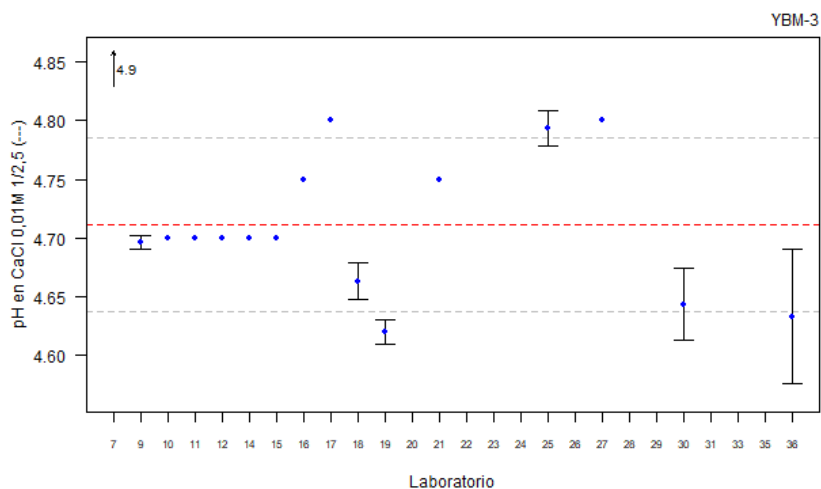


Figura 2.2.3. Valores reportados por cada laboratorio para pH en CaCl_2 0,01M 1:2,5 en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 2.3. Media y desviación estándar de pH en $CaCl_2$ 0,01M 1:2,5 para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	5,65 ± 0,03		4,91 ± 0,01*
2202509	5,69 ± 0,01	5,14 ± 0,00	4,70 ± 0,01
2202510	5,70 ± 0,00	5,10 ± 0,00	4,70 ± 0,00
2202511	5,60 ± 0,00	5,10 ± 0,00	4,70 ± 0,00
2202512	5,60 ± 0,00	5,10 ± 0,00	4,70 ± 0,00
2202514	5,50 ± 0,00	5,20 ± 0,00	4,70 ± 0,00
2202515	5,67 ± 0,06	5,23 ± 0,06	4,70 ± 0,00
2202516	5,70 ± 0,06	5,16 ± 0,04	4,75 ± 0,00
2202517	5,60 ± 0,00	5,20 ± 0,00	4,80 ± 0,00
2202518	5,62 ± 0,03	5,14 ± 0,00	4,66 ± 0,02
2202519	5,51 ± 0,03	5,03 ± 0,01	4,62 ± 0,01
2202520			
2202521	5,60 ± 0,00	5,11 ± 0,02	4,75 ± 0,00
2202522			
2202523			
2202524			
2202525	5,96 ± 0,02**	5,23 ± 0,02	4,79 ± 0,02
2202526			
2202527	5,67 ± 0,06	5,30 ± 0,00	4,80 ± 0,00
2202528			
2202529			
2202530	5,60 ± 0,00	5,11 ± 0,07	4,64 ± 0,03
2202531	4,48 ± 0,12**	3,75 ± 0,04**	3,31 ± **
2202533			
2202535			
2202536	5,30 ± 0,00**	4,90 ± 0,00*	4,63 ± 0,06
Media	5,56 ± 0,30	5,05 ± 0,35	4,67 ± 0,29
C.V	0,05	0,07	0,06
Aceptado	5,61 ± 0,10	5,13 ± 0,10	4,71 ± 0,07
C.V.	0,02	0,02	0,02

Cuadro 2.4. Z-scores del pH en CaCl_2 0,01M 1:2,5, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.40		2.68
2202509	0.76	0.10	0.20
2202510	0.90	0.32	0.16
2202511	0.11	0.32	0.16
2202512	0.11	0.32	0.16
2202514	1.11	0.74	0.16
2202515	0.56	1.09	0.16
2202516	0.87	0.28	0.52
2202517	0.11	0.74	1.20
2202518	0.09	0.10	0.65
2202519	0.98	1.05	1.24
2202520			
2202521	0.11	0.25	0.52
2202522			
2202523			
2202524			
2202525	3.48	1.02	1.11
2202526			
2202527	0.56	1.79	1.20
2202528			
2202529			
2202530	0.11	0.21	0.92
2202531	11.37	14.54	18.88
2202533			
2202535			
2202536	3.12	2.42	1.06



023

0

023

10

24

125 mL
KIMAX

125 mL
KIMAX

NO. 25500
STOPPER NO. 5

2.3 pH en KCl

Sólo 15 laboratorios (55 %) reportaron resultados para el pH determinado en KCl 1M. Cuatro de ellos (27 %) presentaron valores a más de dos desviaciones estándar del valor aceptado. Un laboratorio, además, no informó las 3 repeticiones necesarias para calcular el z -score.

Los laboratorios que reportan valores más allá de dos o tres desviaciones estándar del valor aceptado para la prueba, no corresponden necesariamente a los laboratorios que presentaron valores atípicos en las otras pruebas relativas al pH (ver Cuadro 2.5). Esta “inconsistencia” en el error es indicativa de que no es un problema instrumental, sino de implementación de la metodología. En suma, hay 8 laboratorios de 27 participantes (29 %) que tienen problemas en sus determinaciones de pH.

Principalmente, se observan diferencias en la implementación metodológica entre laboratorios. La menor frecuencia de valores atípicos observada en pH CaCl_2 sugiere una mayor robustez y reproducibilidad de esta metodología frente a las otras dos, mientras que las mayores discrepancias observadas en las determinaciones de pH en agua y KCl refuerzan la necesidad de avanzar hacia el fortalecimiento de capacidades técnicas dentro de la red. Debido a la baja dificultad técnica de la metodología, no hay que olvidar considerar los tiempo de equilibrio químico adecuados, la adecuada preparación de las soluciones y la correcta calibración de electrodos, todo esto podría reducir la variabilidad observada. Cabe destacar que, a pesar de estas observaciones particulares, existe una baja variabilidad dentro de los resultados generales para las tres metodologías, consistente con lo que se describe habitualmente.

Cuadro 2.5. Laboratorios que presentaron valores atípicos para las pruebas de pH por prueba informada.

Lab.	H ₂ O	CaCl ₂	KCl
2202519	✓	✓	atípico
2202521	atípico	✓	atípico
2202523	atípico		
2202525	✓	atípico	✓
2202526	atípico		
2202529	atípico		
2202530	✓	✓	atípico
2202536	✓	atípico	

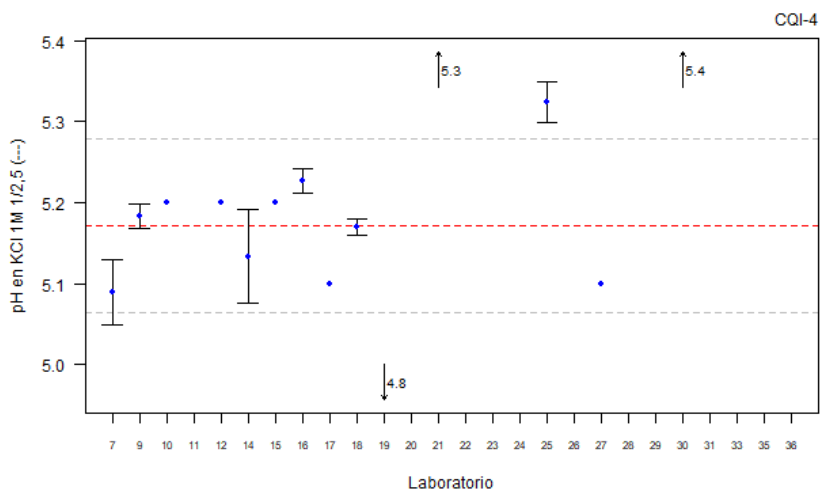


Figura 2.3.1. Valores reportados por cada laboratorio para pH en *KCl* 1M 1:2,5 en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

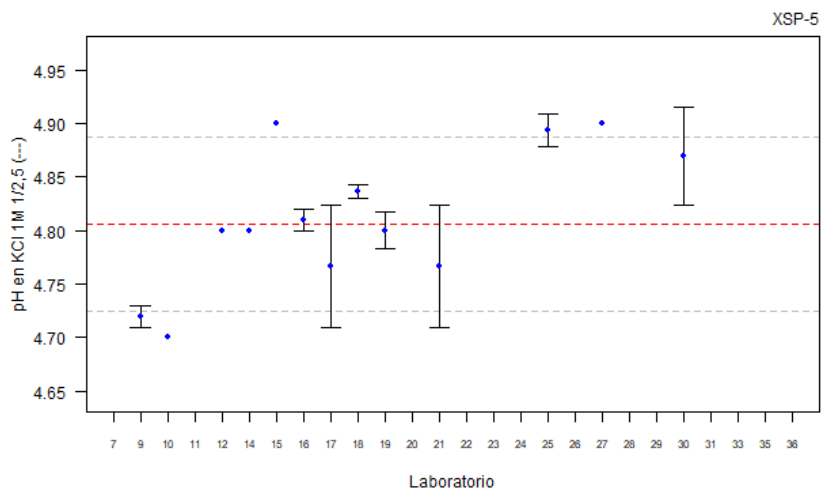


Figura 2.3.2. Valores reportados por cada laboratorio para pH en *KCl* 1M 1:2,5 en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

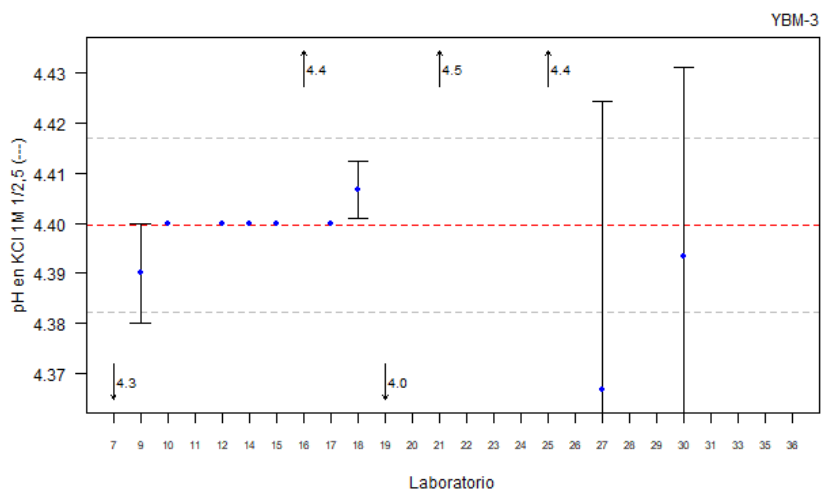


Figura 2.3.3. Valores reportados por cada laboratorio para pH en *KCl* 1M 1:2,5 en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 2.6. Media y desviación estándar de pH en *KCl* 1M 1:2,5 para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	5,09 ± 0,04		4,32 ± 0,01**
2202509	5,18 ± 0,02	4,72 ± 0,01	4,39 ± 0,01
2202510	5,20 ± 0,00	4,70 ± 0,00	4,40 ± 0,00
2202511			
2202512	5,20 ± 0,00	4,80 ± 0,00	4,40 ± 0,00
2202514	5,13 ± 0,06	4,80 ± 0,00	4,40 ± 0,00
2202515	5,20 ± 0,00	4,90 ± 0,00	4,40 ± 0,00
2202516	5,23 ± 0,02	4,81 ± 0,01	4,43 ± 0,01
2202517	5,10 ± 0,00	4,77 ± 0,06	4,40 ± 0,00
2202518	5,17 ± 0,01	4,84 ± 0,01	4,41 ± 0,01
2202519	4,75 ± 0,04**	4,80 ± 0,02	3,97 ± 0,03**
2202520			
2202521	5,30 ± 0,17	4,77 ± 0,06	4,48 ± 0,00**
2202522			
2202523			
2202524			
2202525	5,32 ± 0,03	4,89 ± 0,02	4,43 ± 0,02
2202526			
2202527	5,10 ± 0,00	4,90 ± 0,00	4,37 ± 0,06
2202528			
2202529			
2202530	5,43 ± 0,06*	4,87 ± 0,05	4,39 ± 0,04
2202531	4,75±**	4,21±**	3,88±**
2202533			
2202535			
2202536			
Media	5,15 ± 0,18	4,78 ± 0,15	4,35 ± 0,16
C.V	0,03	0,03	0,04
Aceptado	5,17 ± 0,11	4,81 ± 0,08	4,40 ± 0,02
C.V.	0,02	0,02	0,00

Cuadro 2.7. Z-scores del pH en *KCl* 1M 1:2,5, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.76		4.58
2202509	0.11	1.06	0.55
2202510	0.26	1.31	0.02
2202511			
2202512	0.26	0.08	0.02
2202514	0.36	0.08	0.02
2202515	0.26	1.15	0.02
2202516	0.51	0.05	1.75
2202517	0.67	0.49	0.02
2202518	0.02	0.37	0.41
2202519	3.94	0.08	24.90
2202520			
2202521	1.20	0.49	4.62
2202522			
2202523			
2202524			
2202525	1.42	1.07	1.94
2202526			
2202527	0.67	1.15	1.89
2202528			
2202529			
2202530	2.44	0.78	0.36
2202531	3.98	7.26	29.59
2202533			
2202535			
2202536			



2.4 Carbono orgánico, analizador elemental

En la Ronda 2/2024 participaron en esta determinación 6 laboratorios, mientras que en la presente hubo una participación de 9 laboratorios, lo que representa un 35 % respecto del total. Para esta metodología se observó un amplio coeficiente de variación (>50 %), lo que indica diferencias importantes en los resultados de la metodología utilizada.

En próximos ejercicios, es necesario solicitar que los laboratorios declaren de forma explícita el instrumental y la metodología utilizados. Esto porque, mientras un laboratorio informa 11 g/kg de carbono orgánico, otro, para la misma muestra, informa más de 100 g/kg.

Esta situación ya fue observada en los resultados de la Ronda 2/2024, por lo que se refuerza el diagnóstico de que hace falta estandarización. La baja variación intra-laboratorio, es indicativa de que se trata de un método robusto, y de que ocurre un desacople metodológico entre los laboratorios.

Ninguna de las muestras utilizadas en el ejercicio contenía cal activa o carbonatos que elevaran el contenido de carbono inorgánico y, por tanto, dificultaran la determinación de la fracción orgánica de carbono. Lo anterior pone especial alerta en la metodología: las dificultades pueden ser más agudas en suelos con bajos contenidos de carbono orgánico y alto de carbono inorgánico.

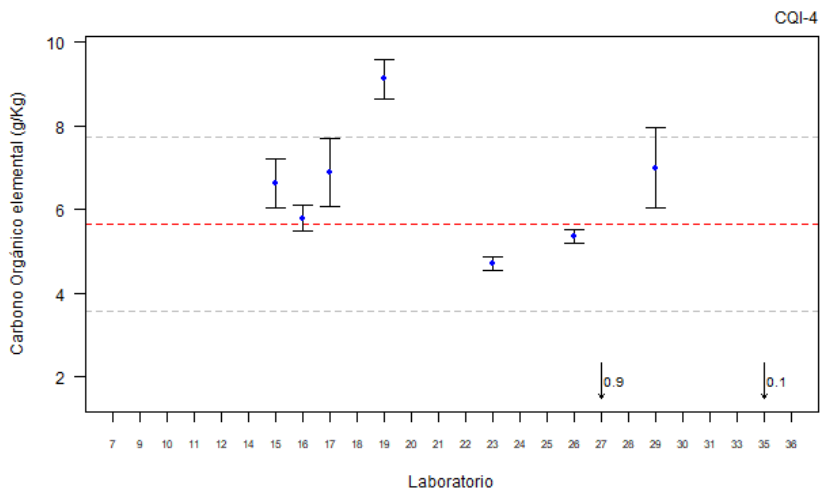


Figura 2.4.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico por análisis elemental en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

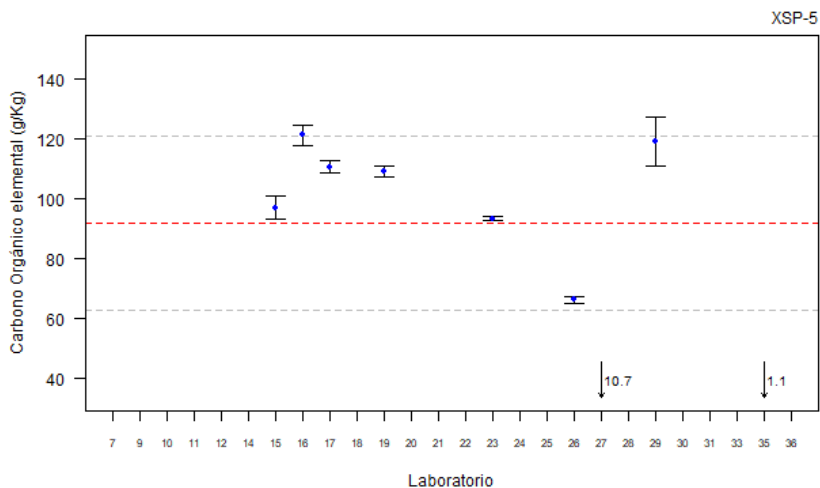


Figura 2.4.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico por análisis elemental en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

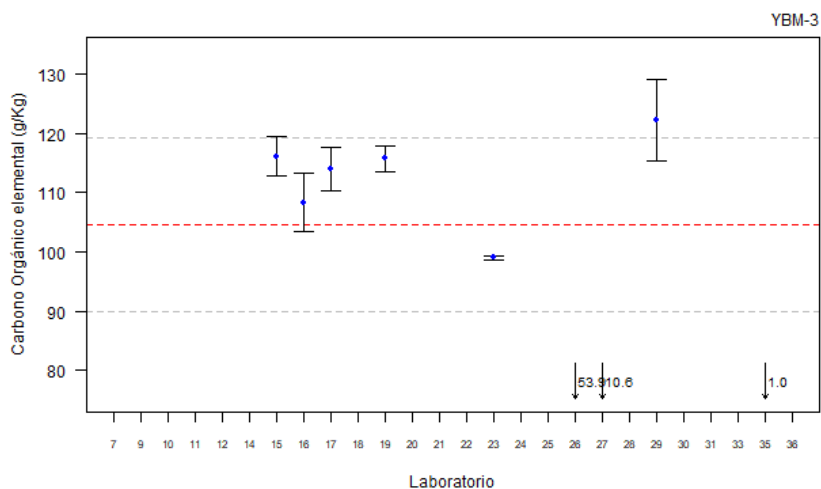


Figura 2.4.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico por análisis elemental en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

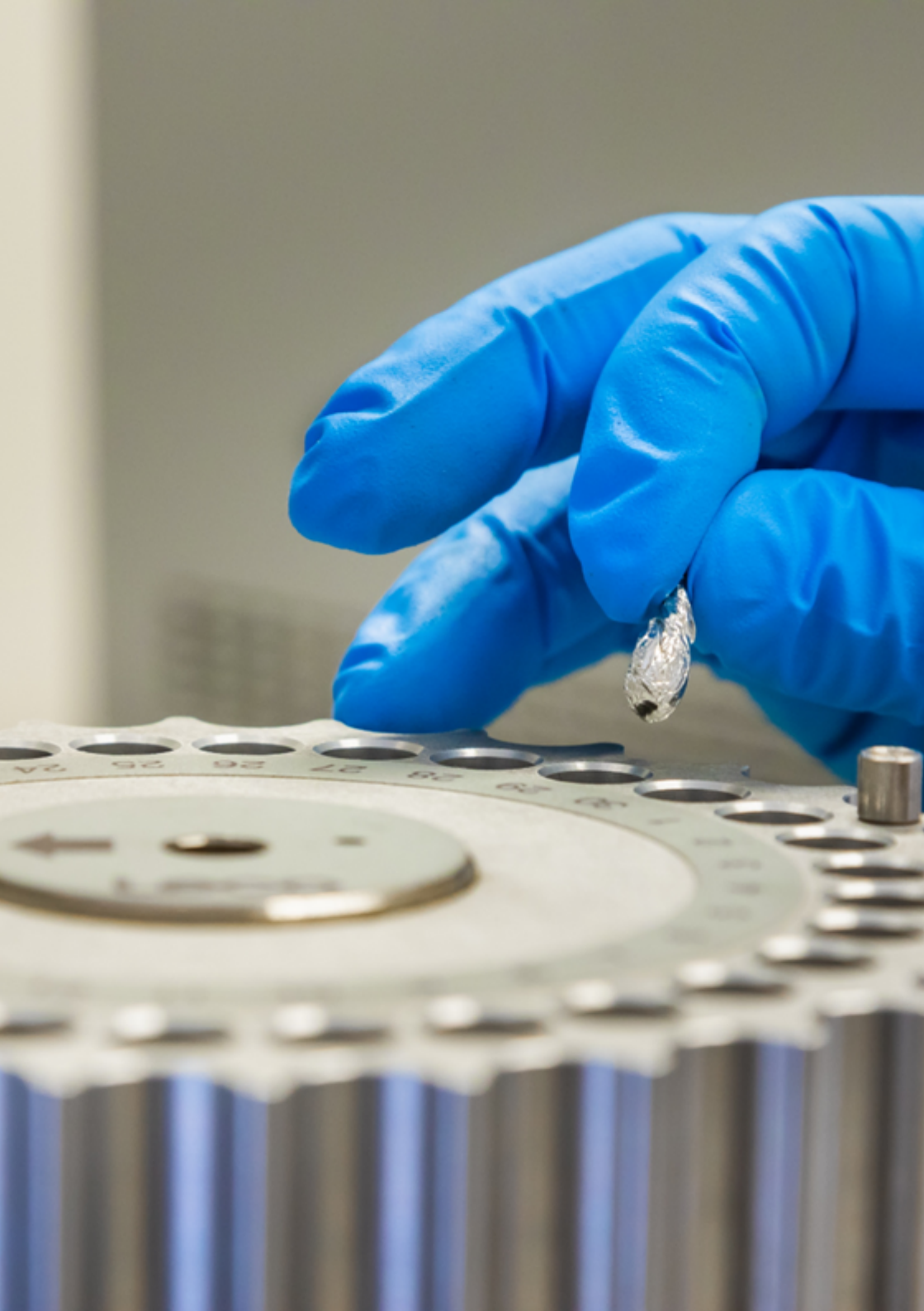
Cuadro 2.8. Media y desviación estándar de carbono orgánico por análisis elemental (g/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510			
2202511			
2202512			
2202514			
2202515	6,63 ± 0,59	97,07 ± 3,89	116,10 ± 3,35
2202516	5,80 ± 0,30	121,24 ± 3,39	108,34 ± 4,98
2202517	6,90 ± 0,81	110,67 ± 2,08	114,00 ± 3,61
2202518			
2202519	9,13 ± 0,47	109,20 ± 1,91	115,80 ± 2,18
2202520			
2202521			
2202522			
2202523	4,70 ± 0,16	93,40 ± 0,84	98,97 ± 0,38
2202524			
2202525			
2202526	5,36 ± 0,16	66,20 ± 1,15	53,93 ± 3,08**
2202527	0,91 ± 0,06*	10,68 ± 0,13*	10,57 ± 0,09**
2202528			
2202529	7,00 ± 0,95	119,17 ± 8,22	122,29 ± 6,87
2202530			
2202531			
2202533			
2202535	0,10 ± 0,00*	1,10 ± 0,00**	1,03 ± 0,06**
2202536			
Media	5,17 ± 2,85	80,97 ± 44,00	82,34 ± 46,14
C.V	0,55	0,54	0,56
Aceptado	5,66 ± 2,08	91,92 ± 29,12	104,60 ± 14,67
C.V.	0,37	0,32	0,14

Cuadro 2.9. Z-scores del carbono orgánico por análisis elemental, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510			
2202511			
2202512			
2202514			
2202515	0.47	0.18	0.78
2202516	0.07	1.01	0.25
2202517	0.60	0.64	0.64
2202518			
2202519	1.67	0.59	0.76
2202520			
2202521			
2202522			
2202523	0.46	0.05	0.38
2202524			
2202525			
2202526	0.14	0.88	3.45
2202527	2.28	2.79	6.41
2202528			
2202529	0.65	0.94	1.21
2202530			
2202531			
2202533			
2202535	2.67	3.12	7.06
2202536			





2.5 Carbono orgánico calcinación

La determinación de carbono orgánico por calcinación tuvo baja participación: sólo 10 de los 27 laboratorios reportaron resultados. Uno de los laboratorios reportó valores a más de dos desviaciones estándar del valor aceptado. A pesar de los resultados más o menos consistentes entre los laboratorios participantes, el coeficiente de variación observado para la prueba fue cercano al 30 %, lo que indica una alta variabilidad en los resultados de la metodología. Aún así, esta variabilidad observada corresponde a una disminución de un 20 % respecto a la observada en la ronda 2/2024.

Una explicación posible para este cambio, es que la determinación de carbono orgánico por calcinación en suelos de reacción ácida con un mayor contenido de carbono orgánico amortigue el error de medición esperado en suelos de concentraciones más bajas de carbono y que pueden tener carbonatos o cal activa. Al respecto, se recomienda para un próximo ejercicio evaluar este método utilizando de suelos con presencia de carbonatos.

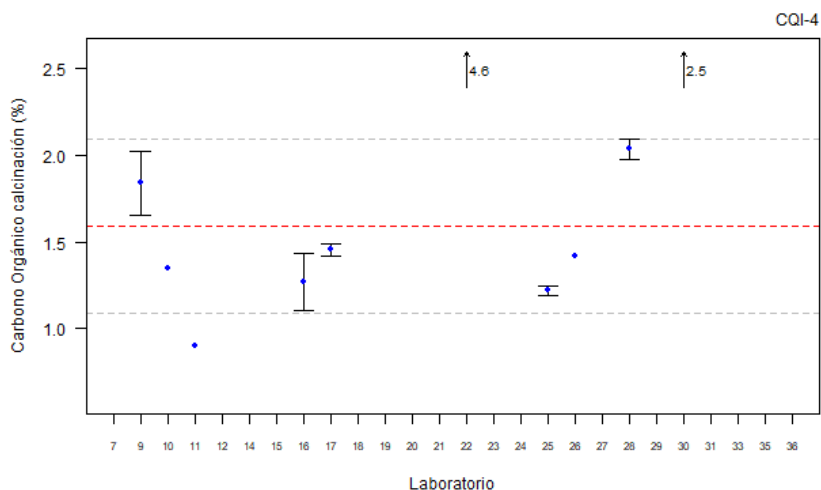


Figura 2.5.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico (pérdida por calcinación) en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

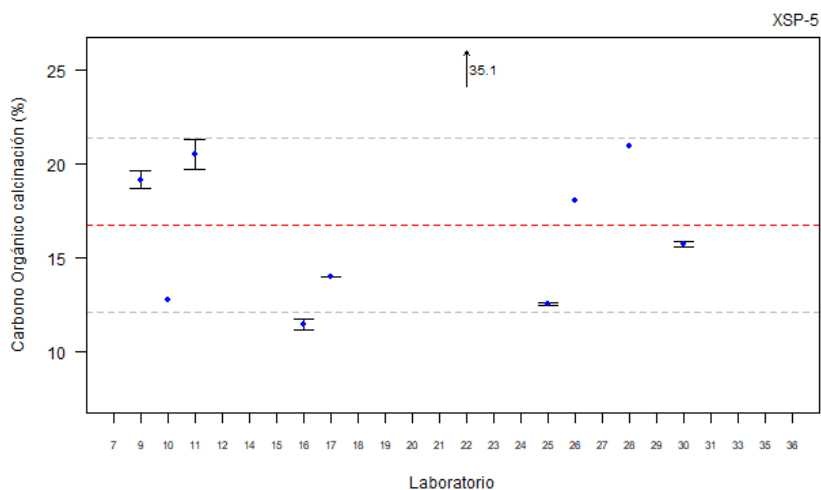


Figura 2.5.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico (pérdida por calcinación) en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

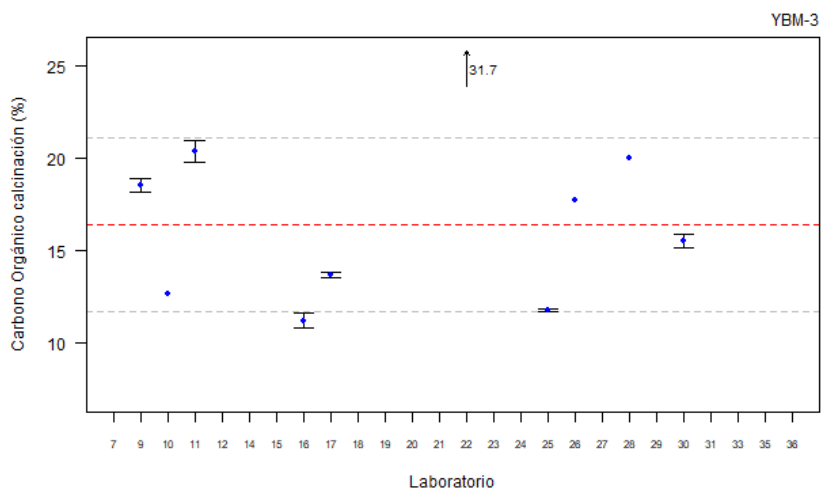


Figura 2.5.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico (pérdida por calcinación) en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 2.10. Media y desviación estándar de carbono orgánico (pérdida por calcinación) (%) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509	1,84 ± 0,18	19,18 ± 0,45	18,54 ± 0,37
2202510	1,35 ± 0,00	12,80 ± 0,00	12,62 ± 0,00
2202511	0,90 ± 0,00	20,53 ± 0,80	20,40 ± 0,60
2202512			
2202514			
2202515			
2202516	1,27 ± 0,17	11,43 ± 0,29	11,20 ± 0,40
2202517	1,46 ± 0,04	14,00 ± 0,02	13,69 ± 0,15
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	4,59 ± 0,04**	35,06 ± 0,01**	31,67 ± 0,06**
2202523			
2202524			
2202525	1,22 ± 0,03	12,57 ± 0,06	11,77 ± 0,06
2202526	1,42±	18,07±	17,70±
2202527			
2202528	2,03 ± 0,06	21,00 ± 0,00	20,00 ± 0,00
2202529			
2202530	2,50 ± 0,10	15,77 ± 0,15	15,53 ± 0,35
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			
Media	1,87 ± 1,04	18,04 ± 6,91	17,28 ± 6,07
C.V	0,56	0,38	0,35
Aceptado	1,59 ± 0,50	16,77 ± 4,64	16,41 ± 4,72
C.V.	0,31	0,28	0,29

Cuadro 2.11. Z-scores del carbono orgánico (pérdida por calcinación), calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509	0.49	0.52	0.45
2202510	0.48	0.85	0.80
2202511	1.38	0.81	0.85
2202512			
2202514			
2202515			
2202516	0.65	1.15	1.10
2202517	0.27	0.60	0.58
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	5.99	3.94	3.23
2202523			
2202524			
2202525	0.74	0.90	0.98
2202526	0.34	0.28	0.27
2202527			
2202528	0.88	0.91	0.76
2202529			
2202530	1.82	0.22	0.19
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			





2.6 Carbono orgánico Walkley & Black

El ensayo de determinación de carbono orgánico mediante el método de Walkley & Black tuvo una alta participación, con 19 laboratorios que informaron resultados (70 %). Cuatro laboratorios presentaron valores que excedieron en dos y hasta tres desviaciones estándar el valor aceptado. Los laboratorios que presentaron valores atípicos en más de una muestra, tienden a sobre o subestimar la concentración de carbono consistentemente (siempre sobre o subestiman; no es un error aleatorio).

El coeficiente de variación observado fue cercano al 30 % en la muestra CQI-1 de bajo contenido de carbono orgánico, y bajo el 15 % para las muestras XSP-5 e YBM-3. Si bien esto es indicativo de que los resultados son más bien heterogéneos, cuando el contenido de carbono orgánico es alto, este método se presenta como una buena alternativa cuantitativa.

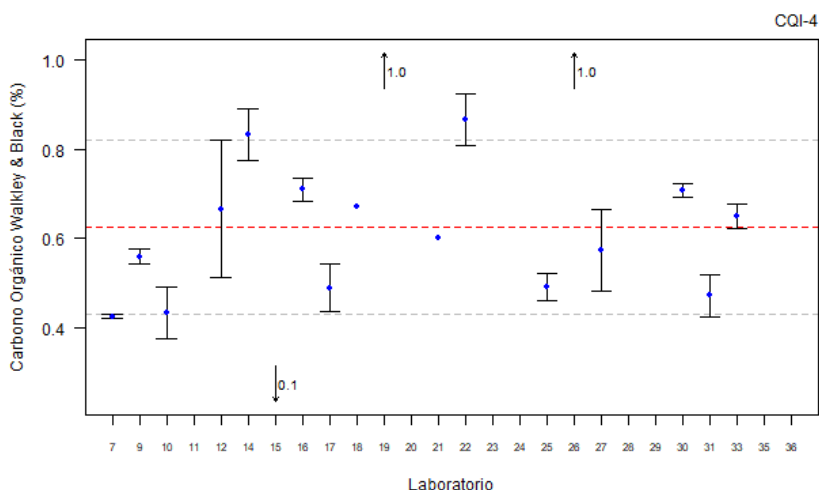


Figura 2.6.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico (Walkley & Black) en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

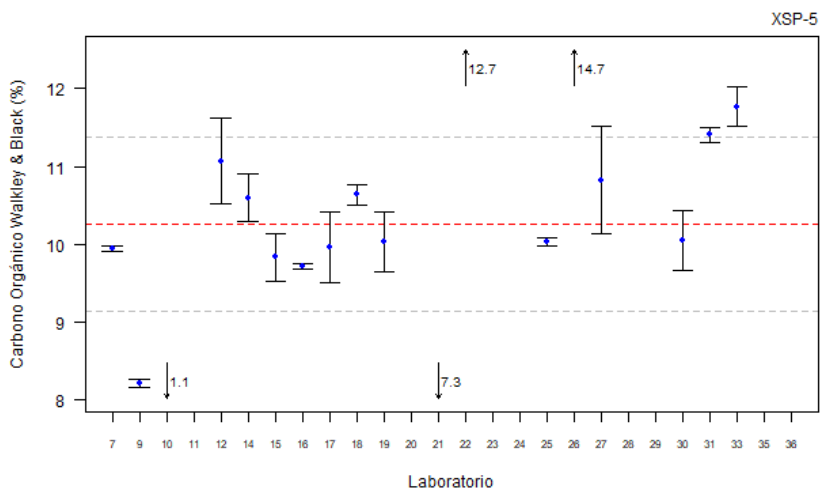


Figura 2.6.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico (Walkley & Black) en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

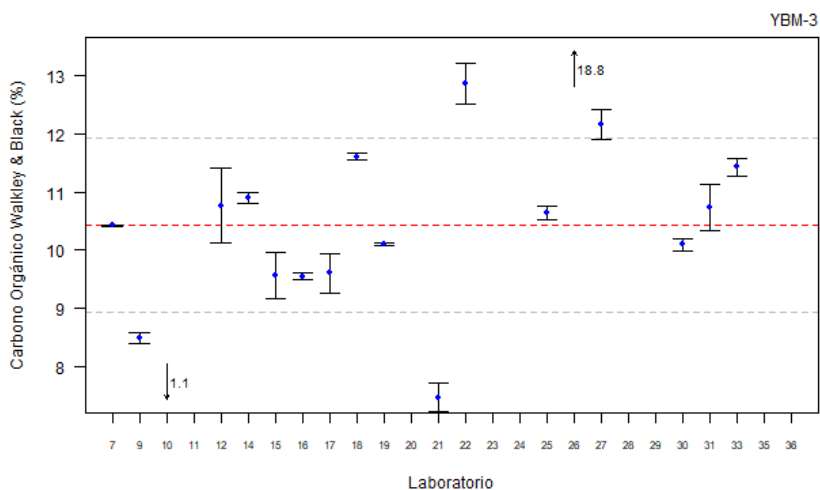


Figura 2.6.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de carbono orgánico (Walkley & Black) en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 2.12. Media y desviación estándar de carbono orgánico (Walkley & Black) (%) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0,43 ± 0,01	9,95 ± 0,03	10,42 ± 0,02
2202509	0,56 ± 0,02	8,21 ± 0,05	8,48 ± 0,10
2202510	0,43 ± 0,06	1,10 ± 0,00**	1,10 ± 0,00**
2202511			
2202512	0,67 ± 0,15	11,07 ± 0,55	10,77 ± 0,65
2202514	0,83 ± 0,06	10,60 ± 0,30	10,90 ± 0,10
2202515	0,07 ± 0,02*	9,83 ± 0,31	9,57 ± 0,40
2202516	0,71 ± 0,03	9,72 ± 0,04	9,55 ± 0,06
2202517	0,49 ± 0,05	9,96 ± 0,46	9,60 ± 0,34
2202518	0,67 ± 0,00	10,64 ± 0,13	11,61 ± 0,06
2202519	0,97 ± 0,09	10,03 ± 0,39	10,11 ± 0,03
2202520			
2202521	0,60 ± 0,00	7,30 ± 0,10*	7,47 ± 0,25
2202522	0,87 ± 0,06	12,70 ± 0,20*	12,87 ± 0,35
2202523			
2202524			
2202525	0,49 ± 0,03	10,03 ± 0,06	10,63 ± 0,12
2202526	1,00 ± 0,06	14,70 ± 0,82**	18,81 ± 1,39**
2202527	0,57 ± 0,09	10,83 ± 0,69	12,17 ± 0,25
2202528			
2202529			
2202530	0,71 ± 0,02	10,06 ± 0,38	10,09 ± 0,11
2202531	0,47 ± 0,05	11,41 ± 0,10	10,73 ± 0,40
2202533	0,65 ± 0,03	11,77 ± 0,25	11,43 ± 0,15
2202535			
2202536			
Media	0,62 ± 0,22	9,99 ± 2,70	10,35 ± 3,25
C.V.	0,36	0,27	0,31
Aceptado	0,63 ± 0,19	10,26 ± 1,12	10,43 ± 1,50
C.V.	0,31	0,11	0,14

Cuadro 2.13. Z-scores del carbono orgánico (Walkley & Black), calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	1.03	0.28	0.01
2202509	0.34	1.83	1.30
2202510	0.99	8.20	6.24
2202511			
2202512	0.21	0.72	0.22
2202514	1.07	0.30	0.31
2202515	2.85	0.38	0.58
2202516	0.43	0.49	0.59
2202517	0.70	0.27	0.55
2202518	0.23	0.34	0.79
2202519	1.75	0.20	0.22
2202520			
2202521	0.13	2.65	1.98
2202522	1.24	2.18	1.63
2202523			
2202524			
2202525	0.68	0.20	0.13
2202526	1.93	3.97	5.60
2202527	0.27	0.50	1.16
2202528			
2202529			
2202530	0.42	0.18	0.23
2202531	0.79	1.03	0.20
2202533	0.12	1.35	0.67
2202535			
2202536			

2.7 Conductividad eléctrica

Para el ensayo de conductividad eléctrica, de los 27 Laboratorios participantes sólo 20 reportaron resultados. Hubo 6 laboratorios que reportaron resultados atípicos. Por el orden de magnitud del error, es presumible que uno de los laboratorios haya reportado sus resultados sin considerar o ajustar la unidad de medida.

Los otros 5 laboratorios reportaron valores que sobre o subestiman el valor aceptado en dos o tres desviaciones estándar. Al respecto, el coeficiente de variación del valor aceptado, para la muestra CQI-4 es anormalmente alto (42 %). Aunque esta amplificación del coeficiente de variación es esperable por las características de las muestras analizadas (baja y muy baja conductividad eléctrica), llama la atención que siendo tan baja la variación intra-laboratorio la variación general sea alta.

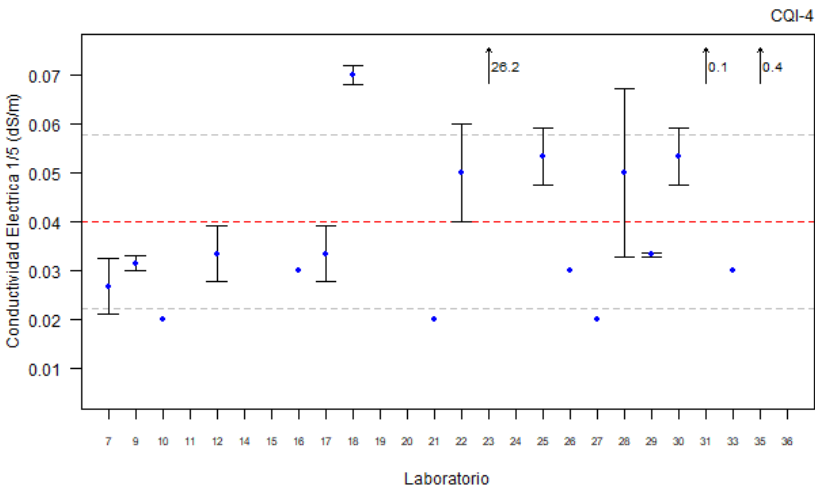


Figura 2.7.1. Valores reportados por cada laboratorio para conductividad eléctrica en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

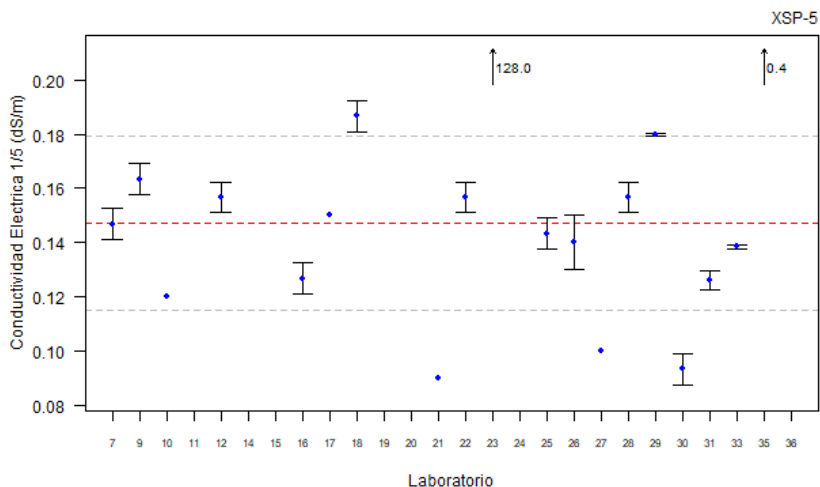


Figura 2.7.2. Valores reportados por cada laboratorio para conductividad eléctrica en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

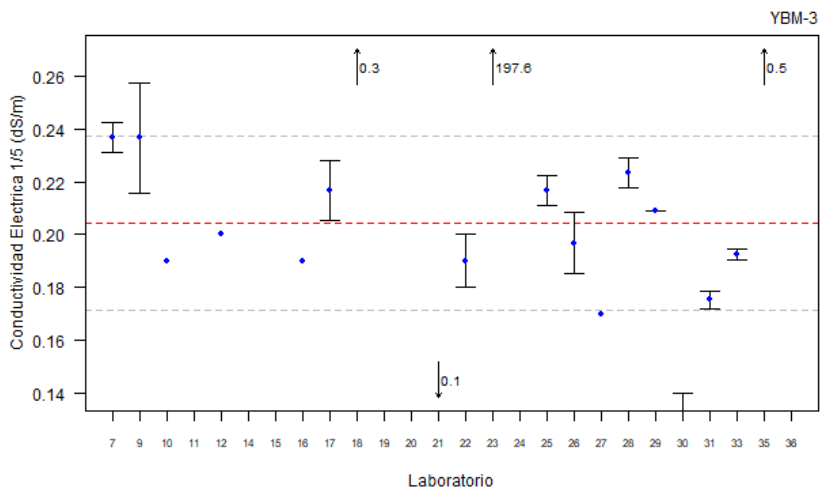


Figura 2.7.3. Valores reportados por cada laboratorio para conductividad eléctrica en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 2.14. Media y desviación estándar de conductividad eléctrica (dS/m) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,24 ± 0,01
2202509	0,03 ± 0,00	0,16 ± 0,01	0,24 ± 0,02
2202510	0,02 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,19 ± 0,00
2202511			
2202512	0,03 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,20 ± 0,00
2202514			
2202515			
2202516	0,03 ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,19 ± 0,00
2202517	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,00	0,22 ± 0,01
2202518	0,07 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,27 ± 0,01
2202519			
2202520			
2202521	0,02 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,12 ± 0,00*
2202522	0,05 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,19 ± 0,01
2202523	26,17 ± 3,98**	128,00 ± 3,65**	197,60 ± 20,47**
2202524			
2202525	0,05 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,22 ± 0,01
2202526	0,03 ± 0,00	0,14 ± 0,01	0,20 ± 0,01
2202527	0,02 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,17 ± 0,00
2202528	0,05 ± 0,02	0,16 ± 0,01	0,22 ± 0,01
2202529	0,03 ± 0,00	0,18 ± 0,00	0,21 ± 0,00
2202530	0,05 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,13 ± 0,01*
2202531	0,09 ± 0,01*	0,13 ± 0,00	0,18 ± 0,00
2202533	0,03 ± 0,00	0,14 ± 0,00	0,19 ± 0,00
2202535	0,36 ± 0,01**	0,45 ± 0,01**	0,49 ± 0,05**
2202536			
Media	1,43 ± 5,93	6,89 ± 28,81	10,60 ± 44,64
C.V	4,14	4,18	4,21
Aceptado	0,04 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,20 ± 0,03
C.V.	0,45	0,22	0,16

Cuadro 2.15. Z-scores de conductividad eléctrica, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.75	0.02	0.98
2202509	0.48	0.50	0.98
2202510	1.12	0.85	0.44
2202511			
2202512	0.37	0.30	0.13
2202514			
2202515			
2202516	0.56	0.64	0.44
2202517	0.37	0.09	0.37
2202518	1.69	1.23	2.00
2202519			
2202520			
2202521	1.12	1.78	2.56
2202522	0.56	0.30	0.44
2202523	1466.75	3977.52	6000.45
2202524			
2202525	0.75	0.12	0.37
2202526	0.56	0.22	0.23
2202527	1.12	1.47	1.04
2202528	0.56	0.30	0.58
2202529	0.38	1.01	0.14
2202530	0.75	1.67	2.26
2202531	2.83	0.66	0.88
2202533	0.56	0.27	0.36
2202535	18.15	9.42	8.78
2202536			

Capítulo 3

Macronutrientes

3.1 Nitrógeno total, Dumas

En la determinación de nitrógeno total participaron 9 laboratorios. Esto es, 2 laboratorios más que en la ronda anterior. Al respecto, las muestras XSP-5 y YBM-3, de mayor concentración de nitrógeno, presentan un bajo coeficiente de variación para el valor aceptado. Esto no ocurre en la muestra CQI-4, probablemente por su contenido de nitrógeno 10 veces menor.

Tres de los laboratorios participantes presentaron valores fuera de rango. Uno de estos laboratorios, presentó valores muy aceptables para las muestras XSP-5 e YBM-3 ($z = 0.25$ y 1.32), pero sobrestimó más de tres veces el valor aceptado para la muestra CQI-4 ($z = 3.21$). Los otros laboratorios fuera de rango tienden a subestimar la concentración de nitrógeno.

Los resultados reportados indican que la metodología es robusta, siempre y cuando las concentraciones de nitrógeno sean superiores a ≈ 7 g/kg. Se debe considerar que el método de Dumas utiliza una cantidad de masa relativamente pequeña, de ahí la importancia de estandarizar el procedimiento de la molienda ($<250 \mu\text{m}$), además de la correcta homogeneización, ya que pequeñas variación pueden cambiar el resultados.

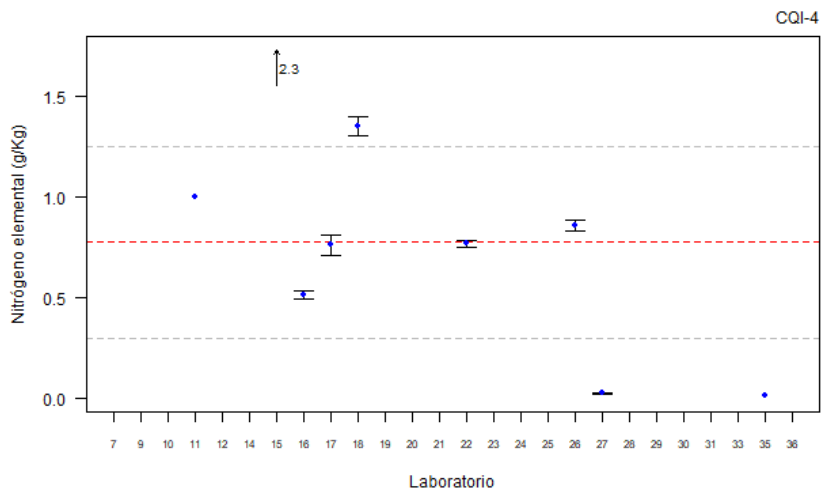


Figura 3.1.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno por determinación elemental en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

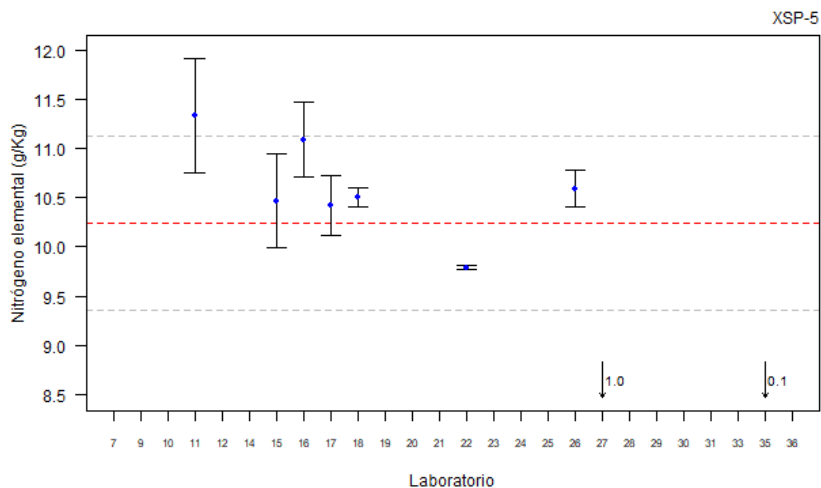


Figura 3.1.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno por determinación elemental en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

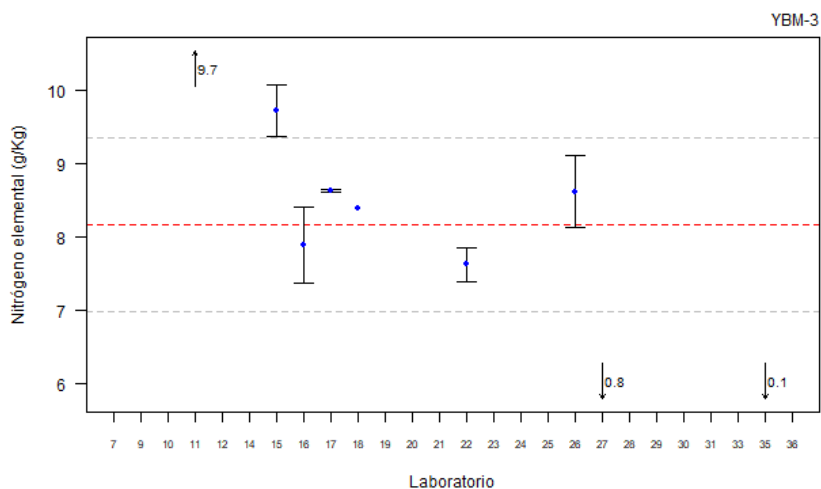


Figura 3.1.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno por determinación elemental en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 3.1. Media y desviación estándar de nitrógeno por determinación elemental (g/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510			
2202511	1,00 ± 0,00	11,33 ± 0,58	9,67 ± 1,15
2202512			
2202514			
2202515	2,31 ± 0,06**	10,47 ± 0,47	9,73 ± 0,35
2202516	0,51 ± 0,02	11,09 ± 0,38	7,90 ± 0,52
2202517	0,76 ± 0,05	10,42 ± 0,30	8,64 ± 0,01
2202518	1,35 ± 0,05	10,50 ± 0,10	8,40 ± 0,00
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0,77 ± 0,02	9,79 ± 0,02	7,63 ± 0,23
2202523			
2202524			
2202525			
2202526	0,86 ± 0,03	10,59 ± 0,19	8,62 ± 0,49
2202527	0,02 ± 0,01	0,96 ± 0,01**	0,77 ± 0,01**
2202528			
2202529			
2202530			
2202531			
2202533			
2202535	0,01 ± 0,00	0,08 ± 0,00**	0,07 ± 0,00**
2202536			
Media	0,84 ± 0,67	8,36 ± 4,30	6,83 ± 3,58
C.V	0,80	0,51	0,52
Aceptado	0,78 ± 0,48	10,24 ± 0,88	8,17 ± 1,19
C.V.	0,61	0,09	0,15

Cuadro 3.2. Z-scores del nitrógeno por determinación elemental, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510			
2202511	0.47	1.23	1.26
2202512			
2202514			
2202515	3.21	0.25	1.32
2202516	0.56	0.96	0.23
2202517	0.03	0.20	0.39
2202518	1.21	0.29	0.19
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0.02	0.51	0.46
2202523			
2202524			
2202525			
2202526	0.17	0.40	0.38
2202527	1.58	10.50	6.24
2202528			
2202529			
2202530			
2202531			
2202533			
2202535	1.61	11.49	6.83
2202536			



3.2 Nitrógeno Kjeldahl

Los resultados indican que este es un análisis robusto para la determinación de nitrógeno en muestras de suelo. A pesar de que tiene una resolución mucho menor a la determinación por Dumas, es altamente reproducible entre laboratorios. Al respecto, el coeficiente de variación observado fue de 0.14, 0.11 y 0.08 para cada una de las muestras analizadas.

Sin embargo, uno de los laboratorios reportó valores tres veces más altos que el valor aceptado, distorsionando los valores observados.

Los resultados observados para esta metodología se diferencian bastante de lo ocurrido en la Ronda 2/2024, donde los coeficientes de variación observados fueron $\approx 300\%$. Esto indicaría que los errores cometidos en la ronda anterior, se debían más bien a un problema de unidades, que fue resuelto gracias al énfasis de las jornadas y talleres de trabajo.

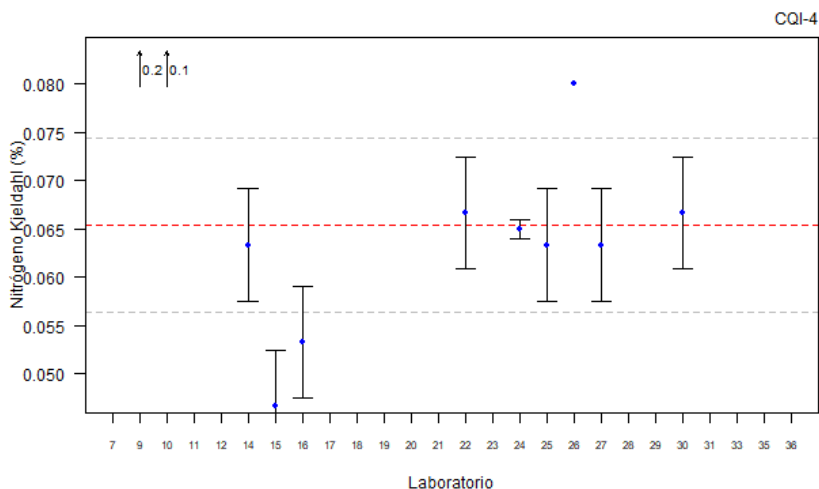


Figura 3.2.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno por determinación Kjeldahl en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

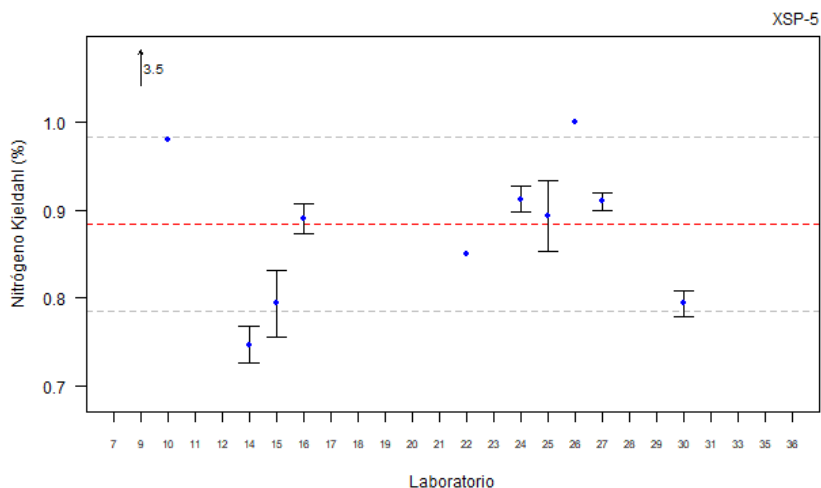


Figura 3.2.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno por determinación Kjeldahl en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

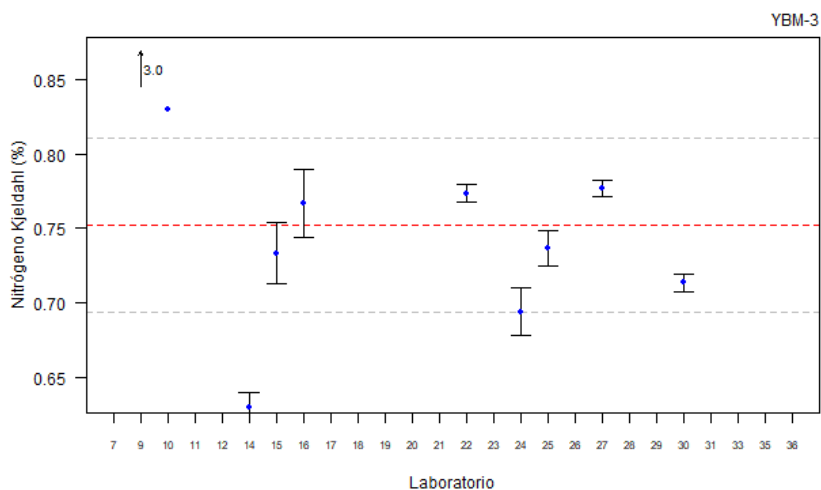


Figura 3.2.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno por determinación Kjeldahl en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 3.3. Media y desviación estándar de nitrógeno por determinación Kjeldahl (%) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509	0,25 ± 0,02**	3,54 ± 0,02**	3,05 ± 0,04**
2202510	0,09 ± 0,00*	0,98 ± 0,00	0,83 ± 0,00
2202511			
2202512			
2202514	0,06 ± 0,01	0,75 ± 0,02	0,63 ± 0,01*
2202515	0,05 ± 0,01*	0,79 ± 0,04	0,73 ± 0,02
2202516	0,05 ± 0,01	0,89 ± 0,02	0,77 ± 0,02
2202517			
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0,07 ± 0,01	0,85 ± 0,00	0,77 ± 0,01
2202523			
2202524	0,06 ± 0,00	0,91 ± 0,01	0,69 ± 0,02
2202525	0,06 ± 0,01	0,89 ± 0,04	0,74 ± 0,01
2202526	0,08±	1,00±	
2202527	0,06 ± 0,01	0,91 ± 0,01	0,78 ± 0,01
2202528			
2202529			
2202530	0,07 ± 0,01	0,79 ± 0,02	0,71 ± 0,01
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			
Media	0,08 ± 0,06	1,13 ± 0,81	0,97 ± 0,71
C.V	0,68	0,72	0,73
Aceptado	0,07 ± 0,01	0,88 ± 0,10	0,75 ± 0,06
C.V.	0,14	0,11	0,08

Cuadro 3.4. Z-scores del nitrógeno por determinación Kjeldahl, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509	20.16	26.72	39.35
2202510	2.74	0.96	1.33
2202511			
2202512			
2202514	0.23	1.39	2.09
2202515	2.08	0.92	0.32
2202516	1.34	0.06	0.25
2202517			
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0.14	0.35	0.36
2202523			
2202524	0.04	0.28	1.00
2202525	0.23	0.09	0.27
2202526	1.62	1.16	
2202527	0.23	0.26	0.42
2202528			
2202529			
2202530	0.14	0.92	0.67
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			

3.3 Nitrógeno disponible

Menos de la mitad de los laboratorios informaron la concentración de nitrógeno disponible (44 %). La variación intra-laboratorios observada se encuentra entre el 1 y el 3 %, mientras que la variación general del valor observado fue de 44, 30 y 21 % para cada una de las tres muestras analizadas. Esto indica que la determinación es bastante heterogénea entre los laboratorios, por lo que es necesario observar las pruebas de recuperación y una precisa titulación de no contar con equipos automáticos.

Los tres laboratorios que informan valores fuera de rango, reportan concentraciones mucho mayores al valor aceptado. Lo anterior llama particularmente la atención en el caso de los laboratorios 2202517 y 2202535, dado que sólo presentan error para una de las muestras. En la lista de revisión o control mensual de los equipos, es recomendable mantener un seguimiento de las pruebas de recuperación de NO_3 y NH_4 .

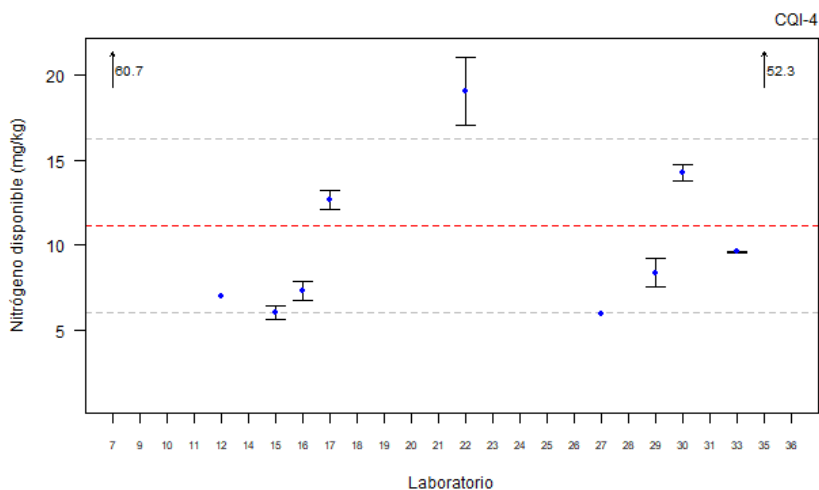


Figura 3.3.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

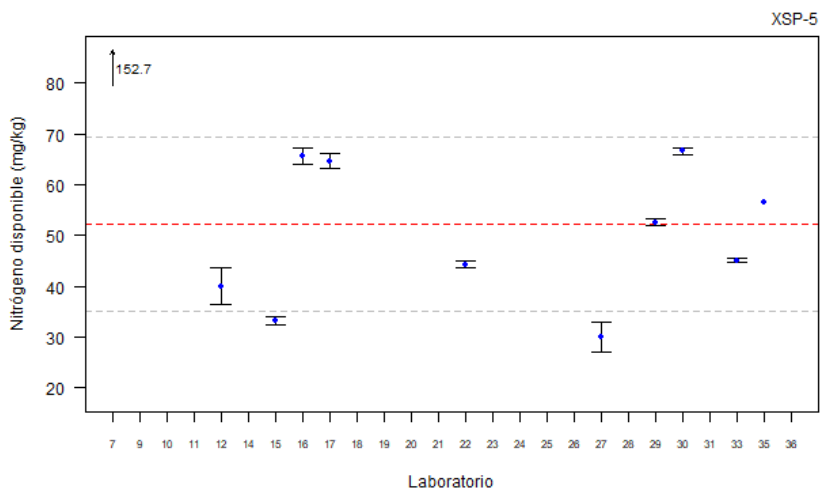


Figura 3.3.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno disponible XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

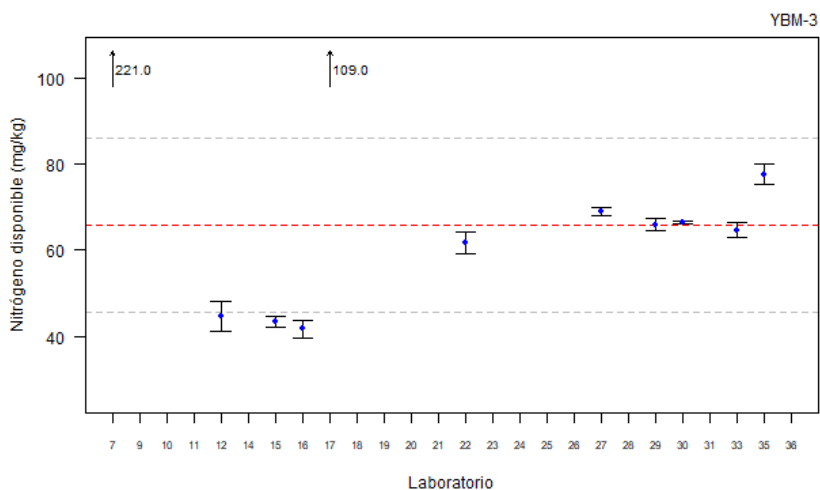


Figura 3.3.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de nitrógeno disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 3.5. Media y desviación estándar de nitrógeno disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	60,67 ± 1,15**	152,67 ± 1,53**	221,00 ± 0,00**
2202509			
2202510			
2202511			
2202512	7,00 ± 0,00	40,00 ± 3,61	44,67 ± 3,51
2202514			
2202515	6,07 ± 0,40	33,13 ± 0,81	43,40 ± 1,21
2202516	7,33 ± 0,58	65,67 ± 1,53	41,67 ± 2,08
2202517	12,67 ± 0,58	64,67 ± 1,53	109,00 ± 2,65*
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	19,00 ± 2,00	44,33 ± 0,58	61,67 ± 2,52
2202523			
2202524			
2202525			
2202526			
2202527	6,00 ± 0,00	30,00 ± 3,00	69,00 ± 1,00
2202528			
2202529	8,37 ± 0,83	52,60 ± 0,69	65,97 ± 1,33
2202530	14,23 ± 0,45	66,60 ± 0,62	66,50 ± 0,30
2202531			
2202533	9,61 ± 0,05	45,13 ± 0,45	64,67 ± 1,65
2202535	52,33 ± 0,58**	56,50±	77,67 ± 2,31
2202536			
Media	18,48 ± 18,70	59,29 ± 33,00	78,65 ± 49,24
C.V.	1,01	0,56	0,63
Aceptado	11,15 ± 5,09	52,29 ± 17,13	65,87 ± 20,22
C.V.	0,46	0,33	0,31

Cuadro 3.6. Z-scores del nitrógeno disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509	20.16	26.72	39.35
2202510	2.74	0.96	1.33
2202511			
2202512			
2202514	0.23	1.39	2.09
2202515	2.08	0.92	0.32
2202516	1.34	0.06	0.25
2202517			
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0.14	0.35	0.36
2202523			
2202524	0.04	0.28	1.00
2202525	0.23	0.09	0.27
2202526	1.62	1.16	
2202527	0.23	0.26	0.42
2202528			
2202529			
2202530	0.14	0.92	0.67
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			

3.4 Fósforo Olsen

Después de la determinación de pH en agua, la determinación de fósforo por el método Olsen fue la prueba con mayor participación, con 24 de 27 laboratorios reportando resultados. De estos, 5 laboratorios reportaron valores a más de tres desviaciones estándar del valor aceptado y dos reportaron valores a más de dos desviaciones estándar del valor aceptado.

Si bien los laboratorios son bastante consistentes en sus resultados, la variación general de la prueba es alta, con coeficientes de variación observados de 39, 23 y 40 % para cada una de las muestras. Estos valores son más de el doble de los observados en la Ronda 2/2024 y escapa de lo aceptable, siendo crítico revisar la aplicación de la metodología. La determinación de Fósforo disponible a través del método de Olsen es estable, sin embargo, hay condiciones de trabajo que no deben subestimarse como revisar el pH del extractante, el tiempo y velocidad de agitación de las muestras, interferencias colorimétricas, presencia de turbidez en las muestras, entre otros.

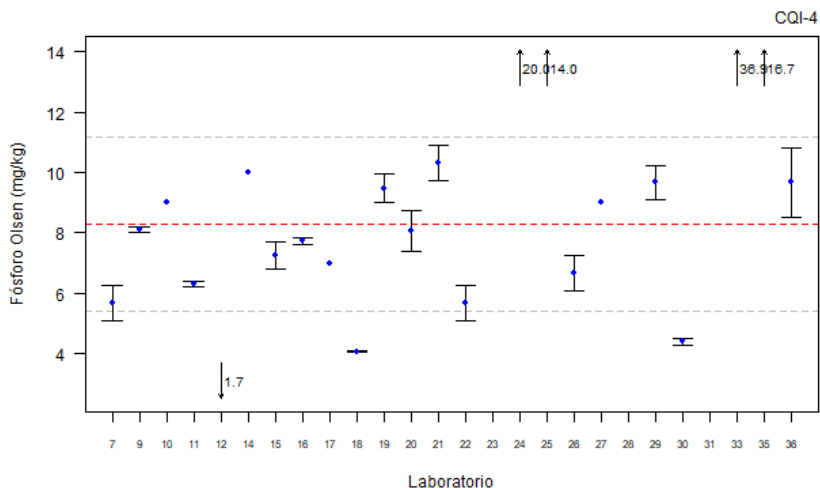


Figura 3.4.1. Valores reportados por cada laboratorio para la concentración de fósforo Olsen en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

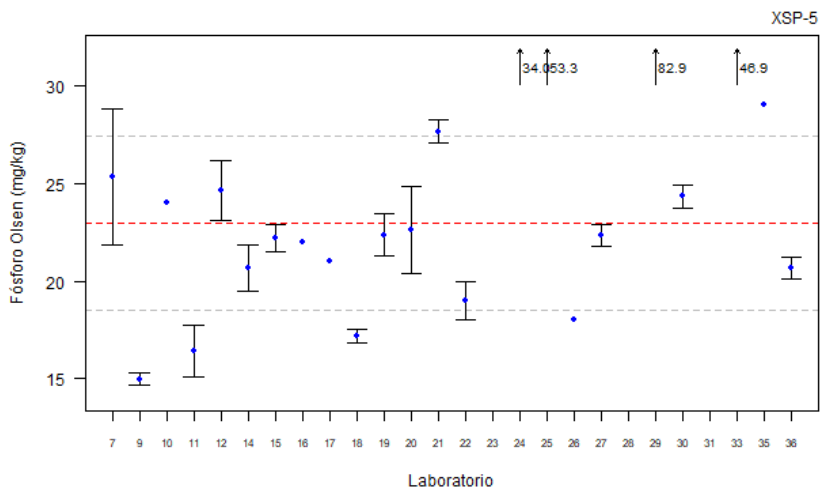


Figura 3.4.2. Valores reportados por cada laboratorio para la concentración de fósforo Olsen en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

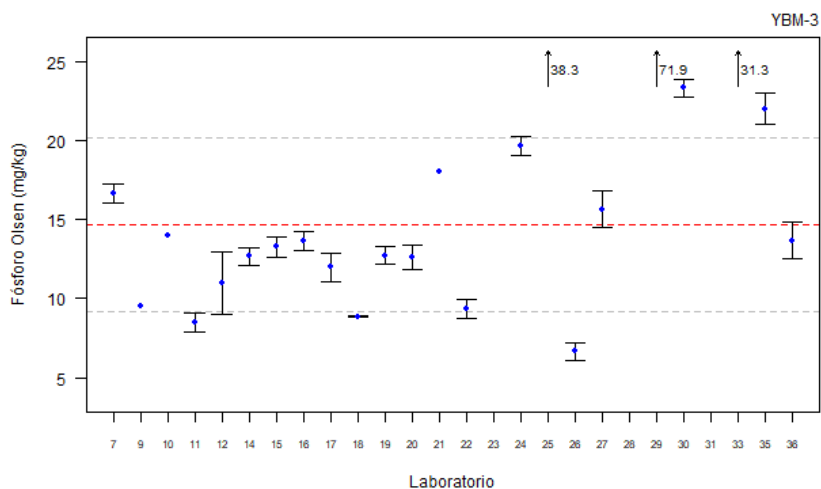


Figura 3.4.3. Valores reportados por cada laboratorio para la concentración de fósforo Olsen en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 3.7. Media y desviación estándar de fósforo Olsen (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	5,67 ± 0,58	25,33 ± 3,51	16,67 ± 0,58
2202509	8,10 ± 0,10	14,97 ± 0,31	9,50 ± 0,01
2202510	9,00 ± 0,00	24,00 ± 0,00	14,00 ± 0,00
2202511	6,32 ± 0,08	16,42 ± 1,32	8,49 ± 0,59
2202512	1,67 ± 0,58*	24,67 ± 1,53	11,00 ± 2,00
2202514	10,00 ± 0,00	20,67 ± 1,15	12,67 ± 0,58
2202515	7,23 ± 0,45	22,20 ± 0,72	13,27 ± 0,64
2202516	7,73 ± 0,12	22,00 ± 0,00	13,67 ± 0,58
2202517	7,00 ± 0,00	21,00 ± 0,00	12,00 ± 0,92
2202518	4,06 ± 0,02	17,19 ± 0,35	8,87 ± 0,03
2202519	9,47 ± 0,47	22,37 ± 1,10	12,73 ± 0,57
2202520	8,07 ± 0,66	22,65 ± 2,23	12,58 ± 0,78
2202521	10,33 ± 0,58	27,67 ± 0,58	18,00 ± 0,00
2202522	5,67 ± 0,58	19,00 ± 1,00	9,33 ± 0,58
2202523			
2202524	20,00 ± 1,00**	34,00 ± 1,00*	19,67 ± 0,58
2202525	14,00 ± 2,65	53,33 ± 1,53**	38,33 ± 2,08**
2202526	6,67 ± 0,58	18,00 ± 0,00	6,67 ± 0,58
2202527	9,00 ± 0,00	22,33 ± 0,58	15,67 ± 1,15
2202528			
2202529	9,67 ± 0,58	82,90 ± 9,64**	71,87 ± 1,75**
2202530	4,40 ± 0,10	24,33 ± 0,58	23,33 ± 0,58
2202531			
2202533	36,93 ± 1,46**	46,87 ± 0,61**	31,27 ± 1,76**
2202535	16,67 ± 0,58*	29,00 ± 0,00	22,00 ± 1,00
2202536	9,67 ± 1,15	20,67 ± 0,58	13,67 ± 1,15
Media	9,88 ± 7,05	27,46 ± 14,99	18,05 ± 13,70
C.V	0,71	0,55	0,76
Aceptado	8,30 ± 2,88	22,97 ± 4,45	14,69 ± 5,50
C.V.	0,35	0,19	0,37

Cuadro 3.8. Z-scores del fósforo Olsen, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.91	0.53	0.36
2202509	0.07	1.80	0.94
2202510	0.24	0.23	0.13
2202511	0.69	1.47	1.13
2202512	2.30	0.38	0.67
2202514	0.59	0.52	0.37
2202515	0.37	0.17	0.26
2202516	0.19	0.22	0.19
2202517	0.45	0.44	0.49
2202518	1.47	1.30	1.06
2202519	0.41	0.14	0.36
2202520	0.08	0.07	0.38
2202521	0.71	1.05	0.60
2202522	0.91	0.89	0.97
2202523			
2202524	4.06	2.48	0.91
2202525	1.98	6.82	4.30
2202526	0.56	1.12	1.46
2202527	0.24	0.14	0.18
2202528			
2202529	0.48	13.45	10.40
2202530	1.35	0.31	1.57
2202531			
2202533	9.93	5.36	3.02
2202535	2.90	1.35	1.33
2202536	0.48	0.52	0.19



3.5 Azufre Disponible

La determinación de azufre disponible tuvo una participación algo mayor al 60 %, con 17 laboratorios participantes. De estos, cuatro laboratorios reportaron valores a más de dos desviaciones de distancia del valor aceptado. El rango de variación entre laboratorios es la mitad del observado en la ronda anterior, con coeficientes de variación entre 24 y 65 %. A pesar de la mejora, estos valores son indicativos de una alta dispersión entre laboratorios.

Considerando lo crítico de la determinación de azufre disponible para los suelos del sur, es importante revisar esta metodología y su impacto en los usuarios finales. En este sentido, es importante reconocer que la cuantificación mediante turbidimetría es una metodología sensible a variaciones operacionales asociadas tanto a la etapa de extracción como de lectura analítica. Nuevamente factores como tiempos de agitación, relación suelo:extractante, condiciones de filtración y estabilidad de la suspensión turbidimétrica pueden contribuir significativamente a la variabilidad observada.

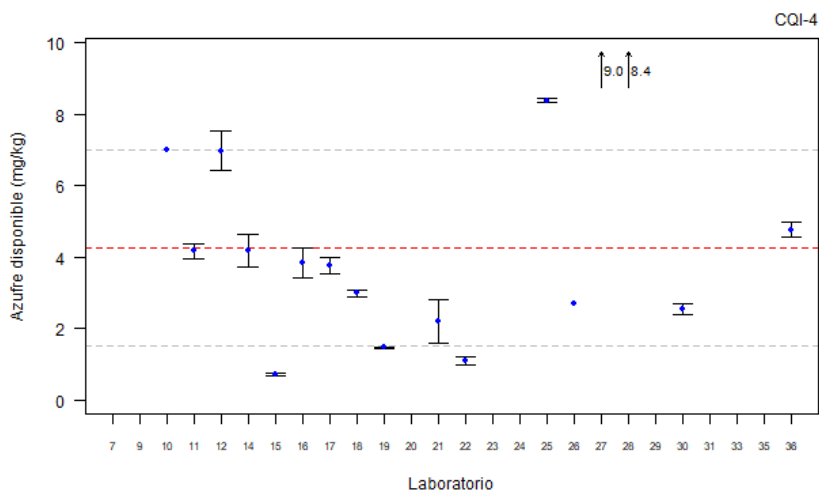


Figura 3.5.1. Valores reportados por cada laboratorio para azufre disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

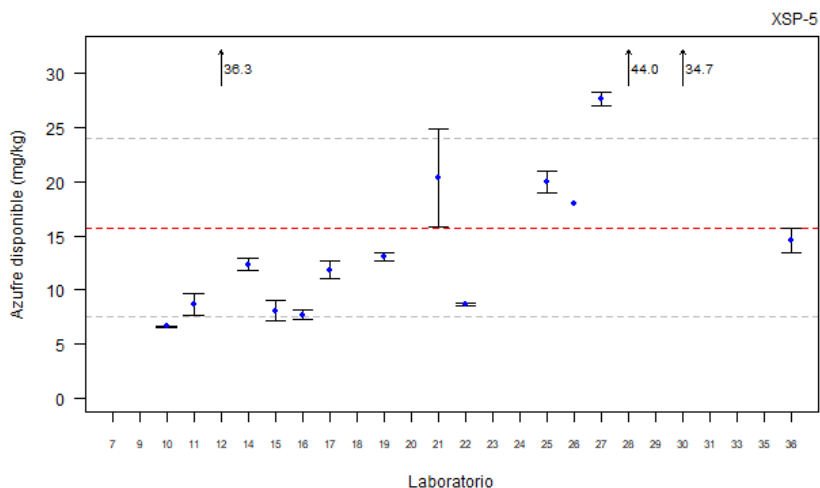


Figura 3.5.2. Valores reportados por cada laboratorio para azufre disponible en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

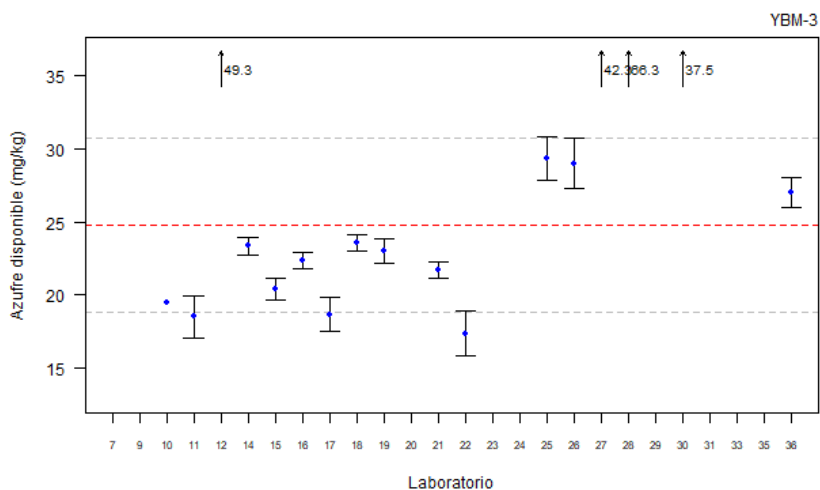


Figura 3.5.3. Valores reportados por cada laboratorio para azufre disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 3.9. Media y desviación estándar de azufre disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510	7,00 ± 0,00	6,63 ± 0,06	19,40 ± 0,00
2202511	4,17 ± 0,21	8,63 ± 1,01	18,47 ± 1,44
2202512	6,97 ± 0,55	36,33 ± 6,51*	49,33 ± 4,51**
2202514	4,17 ± 0,45	12,33 ± 0,58	23,33 ± 0,58
2202515	0,73 ± 0,05	8,07 ± 0,96	20,37 ± 0,75
2202516	3,83 ± 0,40	7,70 ± 0,46	22,33 ± 0,58
2202517	3,76 ± 0,24	11,85 ± 0,79	18,61 ± 1,18
2202518	2,99 ± 0,09		23,59 ± 0,56
2202519	1,46 ± 0,02	13,04 ± 0,38	22,98 ± 0,86
2202520			
2202521	2,20 ± 0,60	20,33 ± 4,51	21,67 ± 0,58
2202522	1,10 ± 0,10	8,63 ± 0,15	17,33 ± 1,53
2202523			
2202524			
2202525	8,37 ± 0,06	20,00 ± 1,00	29,33 ± 1,53
2202526	2,70±	18,00±	29,00 ± 1,73
2202527	9,00 ± 1,00	27,67 ± 0,58	42,33 ± 0,58*
2202528	8,40 ± 3,17	44,00 ± 10,15**	66,33 ± 3,79**
2202529			
2202530	2,53 ± 0,15	34,70 ± 0,95*	37,50 ± 1,39*
2202531			
2202533			
2202535			
2202536	4,77 ± 0,21	14,57 ± 1,12	27,00 ± 1,00
Media	4,39 ± 2,72	18,29 ± 11,77	28,76 ± 12,99
C.V	0,62	0,64	0,45
Aceptado	4,25 ± 2,74	15,76 ± 8,22	24,78 ± 5,98
C.V.	0,65	0,52	0,24

Cuadro 3.10. Z-scores del azufre disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510	1.00	1.11	0.90
2202511	0.03	0.87	1.06
2202512	0.99	2.50	4.11
2202514	0.03	0.42	0.24
2202515	1.28	0.94	0.74
2202516	0.15	0.98	0.41
2202517	0.18	0.48	1.03
2202518	0.46		0.20
2202519	1.01	0.33	0.30
2202520			
2202521	0.75	0.56	0.52
2202522	1.15	0.87	1.25
2202523			
2202524			
2202525	1.50	0.52	0.76
2202526	0.56	0.27	0.71
2202527	1.73	1.45	2.94
2202528	1.51	3.44	6.95
2202529			
2202530	0.62	2.30	2.13
2202531			
2202533			
2202535			
2202536	0.19	0.14	0.37

Capítulo 4

Cationes extraíbles

4.1 Calcio Extraíble

El 34 % de los laboratorios reportó valores a más de dos desviaciones estándar del valor aceptado. De todos modos, la determinación es bastante consistente y goza de una alta reproducibilidad, observándose coeficientes de variación menores al 10 %.

La muestra XSP-5 presenta el mayor número de observaciones fuera de rango (7 laboratorios), donde el error, por ejemplo, de 2.19 cmol(+)/kg del laboratorio 2202532 respecto al valor aceptado, se traduce en 438 mg/kg sobrestimados de calcio en la muestra.

Una fuente de error distinta revelan los valores reportados por el laboratorio 2202528, donde muy probablemente haya ocurrido un problema de unidades más que de implementación de metodología: parecen valores consistentemente 10 veces mayores a los aceptados en todas las muestras.

Es importante observar, además, que existen sesgos sistemáticos en algunos laboratorios. Esto es, a pesar de presentar valores dentro del rango aceptado. Estos laboratorios presentan valores z sistemáticamente negativos o positivos. Lo anterior recalca la importancia de mantener registro del error sobre los controles como una de las medidas de control de calidad.

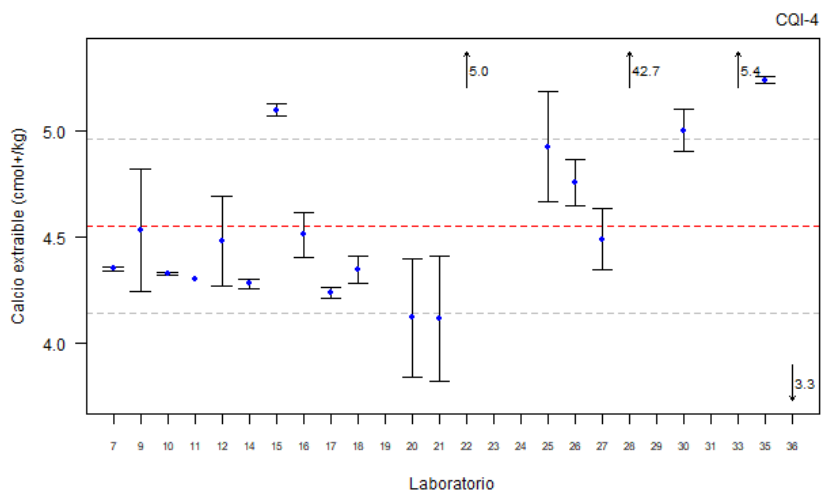


Figura 4.1.1. Valores reportados por cada laboratorio para calcio extraíble en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

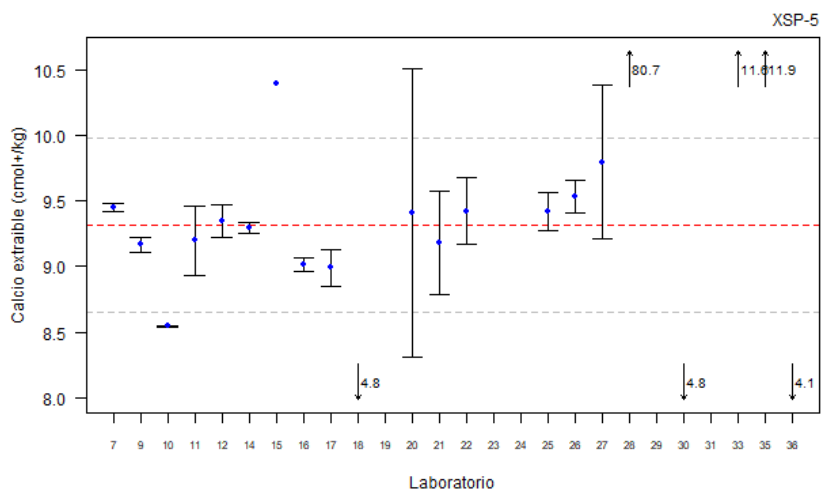


Figura 4.1.2. Valores reportados por cada laboratorio para calcio extraíble en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

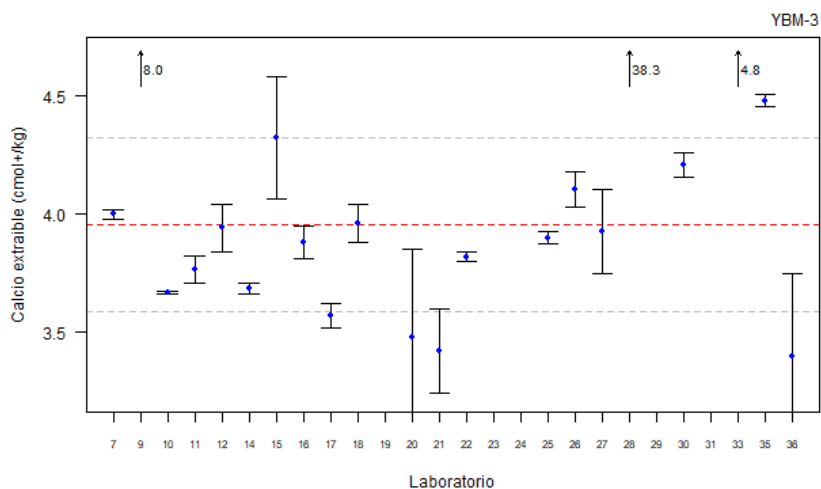


Figura 4.1.3. Valores reportados por cada laboratorio para calcio extraíble en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 4.1. Media y desviación estándar de calcio extraíble (cmol(+)/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	4,35 ± 0,01	9,45 ± 0,03	4,00 ± 0,02
2202509	4,53 ± 0,29	9,17 ± 0,06	8,00 ± 0,10**
2202510	4,33 ± 0,01	8,55 ± 0,01	3,67 ± 0,01
2202511	4,30 ± 0,00	9,20 ± 0,26	3,77 ± 0,06
2202512	4,48 ± 0,21	9,35 ± 0,12	3,94 ± 0,10
2202514	4,28 ± 0,02	9,30 ± 0,05	3,68 ± 0,02
2202515	5,10 ± 0,03	10,40 ± 0,00	4,32 ± 0,26
2202516	4,51 ± 0,11	9,01 ± 0,05	3,88 ± 0,07
2202517	4,24 ± 0,03	8,99 ± 0,14	3,57 ± 0,05
2202518	4,35 ± 0,07	4,80 ± 0,06**	3,96 ± 0,08
2202519			
2202520	4,12 ± 0,28	9,41 ± 1,10	3,48 ± 0,37
2202521	4,12 ± 0,30	9,18 ± 0,40	3,42 ± 0,18
2202522	4,97 ± 0,70	9,42 ± 0,26	3,82 ± 0,02
2202523			
2202524			
2202525	4,92 ± 0,26	9,42 ± 0,15	3,90 ± 0,03
2202526	4,75 ± 0,11	9,54 ± 0,13	4,11 ± 0,08
2202527	4,49 ± 0,14	9,80 ± 0,59	3,93 ± 0,18
2202528	42,73 ± 2,36**	80,70 ± 1,04**	38,30 ± 1,90**
2202529			
2202530	5,00 ± 0,10	4,83 ± 0,31**	4,21 ± 0,05
2202531			
2202533	5,42 ± 0,03*	11,57 ± 0,45**	4,75 ± 0,05*
2202535	5,24 ± 0,02	11,90 ± 0,05**	4,48 ± 0,03
2202536	3,30 ± 0,10**	4,07 ± 0,32**	3,40 ± 0,35
Media	6,36 ± 8,22	12,29 ± 15,55	5,74 ± 7,41
C.V	1,29	1,27	1,29
Aceptado	4,55 ± 0,41	9,32 ± 0,66	3,96 ± 0,37
C.V.	0,09	0,07	0,09

Cuadro 4.2. Z-scores del calcio extraíble, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.49	0.20	0.12
2202509	0.04	0.23	11.02
2202510	0.55	1.16	0.79
2202511	0.62	0.18	0.51
2202512	0.18	0.05	0.03
2202514	0.66	0.03	0.74
2202515	1.33	1.63	1.00
2202516	0.10	0.46	0.21
2202517	0.77	0.49	1.05
2202518	0.50	6.79	0.01
2202519			
2202520	1.06	0.14	1.29
2202521	1.06	0.20	1.46
2202522	1.03	0.16	0.37
2202523			
2202524			
2202525	0.91	0.16	0.15
2202526	0.49	0.33	0.41
2202527	0.15	0.72	0.08
2202528	93.37	107.46	93.46
2202529			
2202530	1.10	6.75	0.68
2202531			
2202533	2.12	3.39	2.16
2202535	1.68	3.89	1.43
2202536	3.06	7.90	1.51



4.2 Magnesio Extraíble

La determinación de magnesio tuvo igual participación respecto al calcio. Los coeficientes de variación también se encontraron dentro del mismo rango $\approx 10\%$. Los resultados del laboratorio 2202528 vuelve a indicar un error probable en el uso de unidades, aunque, si fuera el caso, aún ajustando los valores informados, presentaría valores a más de dos desviaciones del valor aceptado.

Para este analito, nuevamente la muestra XSP-5 fue la que acumuló mayores valores fuera de rango, con 5 laboratorios en esta situación. Llama la atención que laboratorios que reportaron correctamente en calcio, reporten valores fuera de rango para magnesio y viceversa.

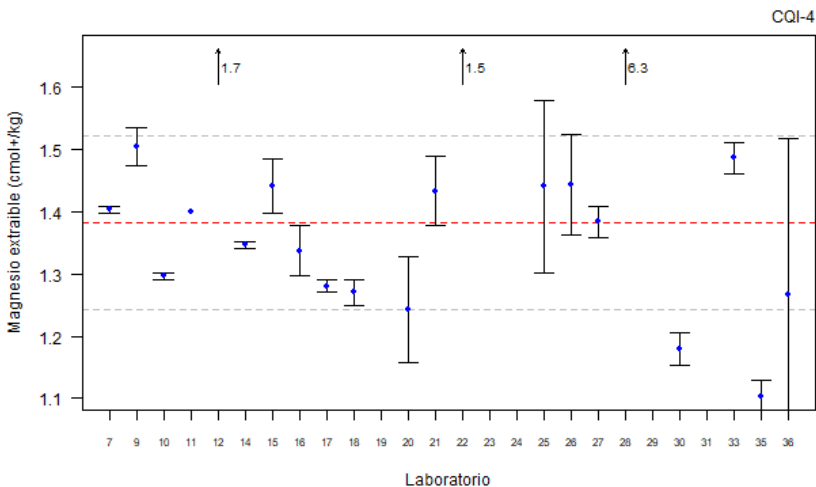


Figura 4.2.1. Valores reportados por cada laboratorio para magnesio extraíble en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

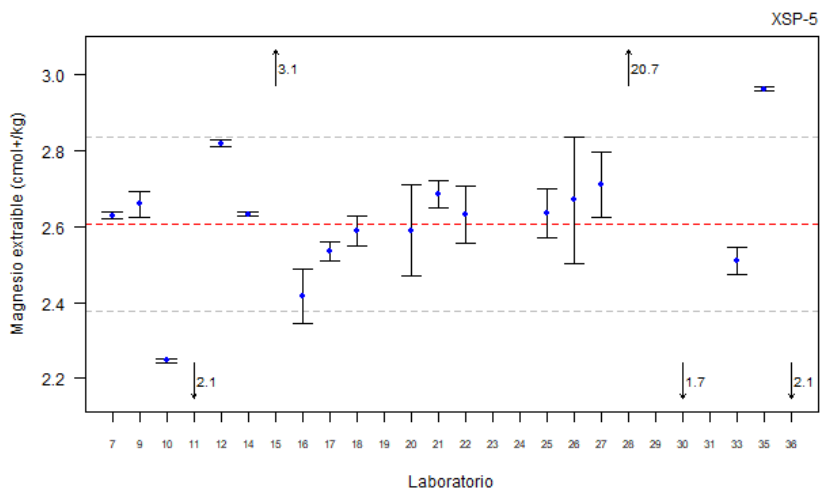


Figura 4.2.2. Valores reportados por cada laboratorio para magnesio extraíble en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

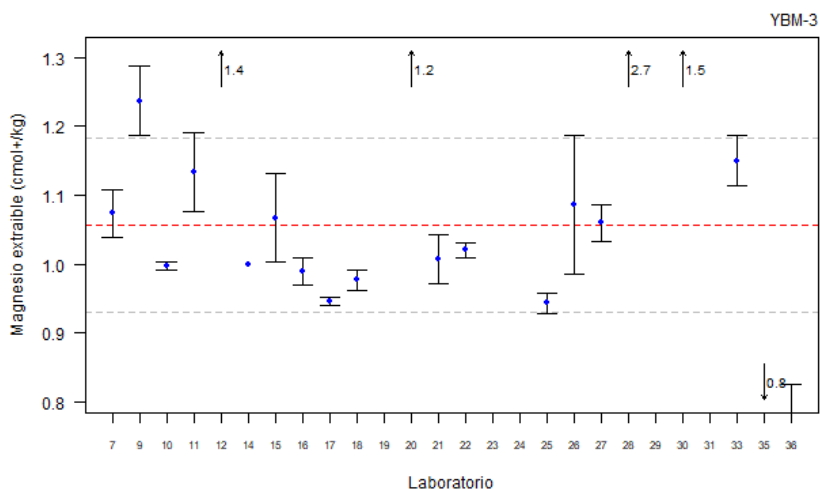


Figura 4.2.3. Valores reportados por cada laboratorio para magnesio extraíble en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 4.3. Media y desviación estándar de magnesio extraíble (cmol(+)/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	1,40 ± 0,01	2,63 ± 0,01	1,07 ± 0,04
2202509	1,50 ± 0,03	2,66 ± 0,03	1,24 ± 0,05
2202510	1,30 ± 0,01	2,25 ± 0,01	1,00 ± 0,01
2202511	1,40 ± 0,00	2,07 ± 0,06*	1,13 ± 0,06
2202512	1,72 ± 0,04*	2,82 ± 0,01	1,38 ± 0,05*
2202514	1,35 ± 0,01	2,63 ± 0,01	1,00 ± 0,00
2202515	1,44 ± 0,04	3,08 ± 0,08*	1,07 ± 0,06
2202516	1,34 ± 0,04	2,42 ± 0,07	0,99 ± 0,02
2202517	1,28 ± 0,01	2,54 ± 0,03	0,95 ± 0,01
2202518	1,27 ± 0,02	2,59 ± 0,04	0,98 ± 0,02
2202519			
2202520	1,24 ± 0,09	2,59 ± 0,12	1,24 ± 0,12
2202521	1,43 ± 0,06	2,69 ± 0,04	1,01 ± 0,04
2202522	1,51 ± 0,21	2,63 ± 0,08	1,02 ± 0,01
2202523			
2202524			
2202525	1,44 ± 0,14	2,64 ± 0,06	0,94 ± 0,02
2202526	1,44 ± 0,08	2,67 ± 0,17	1,09 ± 0,10
2202527	1,38 ± 0,03	2,71 ± 0,09	1,06 ± 0,03
2202528	6,28 ± 0,40**	20,73 ± 1,32**	2,73 ± 0,38**
2202529			
2202530	1,18 ± 0,03	1,67 ± 0,05**	1,46 ± 0,01**
2202531			
2202533	1,49 ± 0,03	2,51 ± 0,04	1,15 ± 0,04
2202535	1,10 ± 0,03*	2,96 ± 0,01	0,77 ± 0,02*
2202536	1,27 ± 0,25	2,07 ± 0,06*	0,77 ± 0,06*
Media	1,61 ± 1,07	3,41 ± 3,93	1,14 ± 0,40
C.V.	0,66	1,15	0,35
Aceptado	1,38 ± 0,14	2,61 ± 0,23	1,06 ± 0,13
C.V.	0,10	0,09	0,12

Cuadro 4.4. Z-scores del magnesio extraíble, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.15	0.10	0.13
2202509	0.87	0.23	1.42
2202510	0.61	1.57	0.48
2202511	0.13	2.36	0.61
2202512	2.40	0.93	2.58
2202514	0.26	0.11	0.45
2202515	0.41	2.08	0.08
2202516	0.33	0.83	0.53
2202517	0.73	0.31	0.87
2202518	0.81	0.08	0.63
2202519			
2202520	1.00	0.08	1.48
2202521	0.37	0.35	0.40
2202522	0.94	0.11	0.29
2202523			
2202524			
2202525	0.41	0.13	0.90
2202526	0.44	0.27	0.24
2202527	0.01	0.45	0.03
2202528	35.13	79.02	13.24
2202529			
2202530	1.45	4.09	3.19
2202531			
2202533	0.75	0.42	0.74
2202535	2.00	1.55	2.29
2202536	0.83	2.36	2.29

4.3 Potasio Extraíble

Se suma un laboratorio en la determinación de este catión, probablemente por el uso de fotómetros de llama, en vez de equipos más complejos de absorción atómica. Al igual que en el caso del Ca y el Mg, para el K se observan coeficientes de variación bajos, que dan cuenta de una técnica robusta.

Se observaron 9 valores reportados fuera del rango aceptado, lo que genera una alta variación en los resultados generales que puede impactar al usuario final. En términos de manejo agrícola, por ejemplo, los resultados del laboratorio 2202529 hubieran sugerido realizar una fertilización de corrección en el suelo YBM-3, mientras que los resultados del laboratorio 2202535 habrían sugerido lo contrario. Esto es preocupante y realza la importancia de contar con material de control interno.

Es de notar que los laboratorios que fallan en la determinación de potasio no necesariamente corresponden a aquellos que fallan en la determinación de Ca o Mg. En este sentido, el laboratorio 2202528 no parece tener problemas de unidades para este analito.

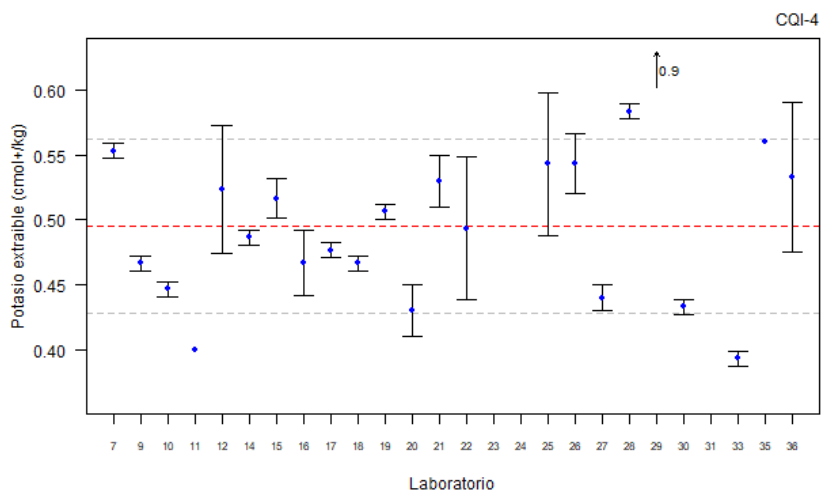


Figura 4.3.1. Valores reportados por cada laboratorio para potasio extraíble en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

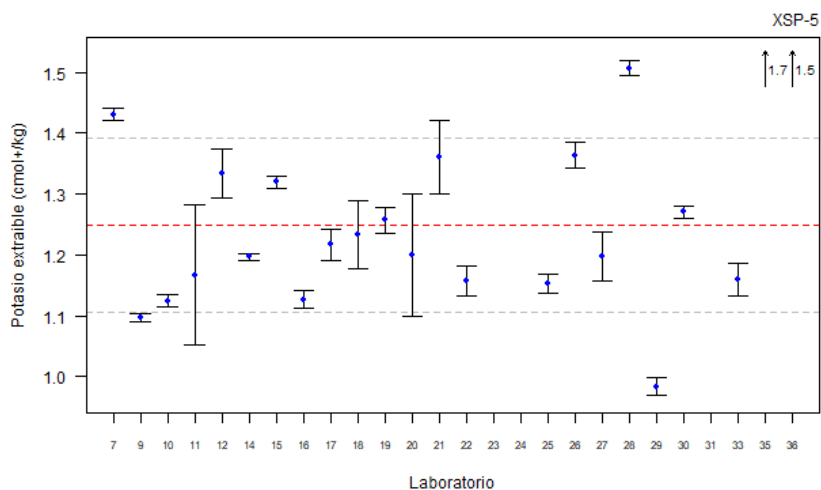


Figura 4.3.2. Valores reportados por cada laboratorio para potasio extraíble en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

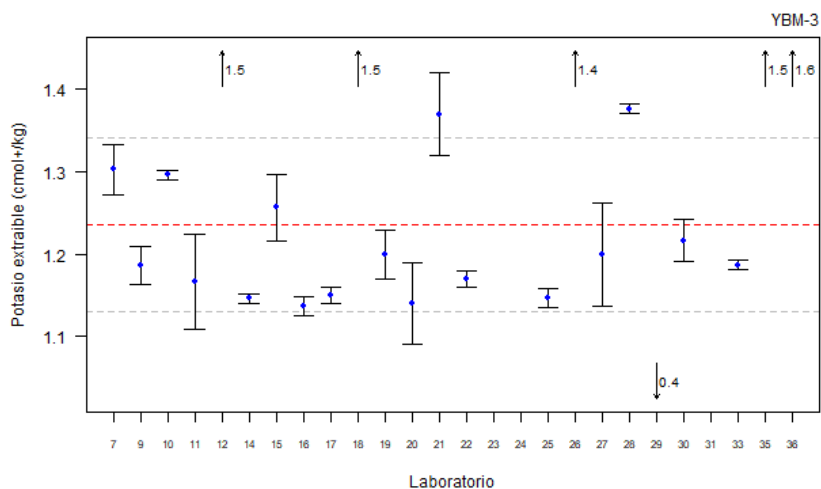


Figura 4.3.3. Valores reportados por cada laboratorio para potasio extraíble en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 4.5. Media y desviación estándar de potasio extraíble (cmol(+)/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0,55 ± 0,01	1,43 ± 0,01	1,30 ± 0,03
2202509	0,47 ± 0,01	1,10 ± 0,01	1,19 ± 0,02
2202510	0,45 ± 0,01	1,12 ± 0,01	1,30 ± 0,01
2202511	0,40 ± 0,00	1,17 ± 0,12	1,17 ± 0,06
2202512	0,52 ± 0,05	1,33 ± 0,04	1,45 ± 0,13*
2202514	0,49 ± 0,01	1,20 ± 0,01	1,15 ± 0,01
2202515	0,52 ± 0,02	1,32 ± 0,01	1,26 ± 0,04
2202516	0,47 ± 0,03	1,13 ± 0,02	1,14 ± 0,01
2202517	0,48 ± 0,01	1,22 ± 0,03	1,15 ± 0,01
2202518	0,47 ± 0,01	1,23 ± 0,06	1,46 ± 0,01*
2202519	0,51 ± 0,01	1,26 ± 0,02	1,20 ± 0,03
2202520	0,43 ± 0,02	1,20 ± 0,10	1,14 ± 0,05
2202521	0,53 ± 0,02	1,36 ± 0,06	1,37 ± 0,05
2202522	0,49 ± 0,06	1,16 ± 0,03	1,17 ± 0,01
2202523			
2202524			
2202525	0,54 ± 0,06	1,15 ± 0,02	1,15 ± 0,01
2202526	0,54 ± 0,02	1,36 ± 0,02	1,39 ± 0,07
2202527	0,44 ± 0,01	1,20 ± 0,04	1,20 ± 0,06
2202528	0,58 ± 0,01	1,51 ± 0,01	1,38 ± 0,01
2202529	0,90 ± 0,01**	0,98 ± 0,01	0,39 ± 0,01**
2202530	0,43 ± 0,01	1,27 ± 0,01	1,22 ± 0,03
2202531			
2202533	0,39 ± 0,01	1,16 ± 0,03	1,19 ± 0,01
2202535	0,56 ± 0,00	1,66 ± 0,01*	1,54 ± 0,00*
2202536	0,53 ± 0,06	1,53 ± 0,25	1,57 ± 0,25**
Media	0,51 ± 0,10	1,26 ± 0,17	1,24 ± 0,23
C.V	0,20	0,13	0,19
Aceptado	0,50 ± 0,07	1,25 ± 0,14	1,24 ± 0,11
C.V.	0,14	0,11	0,09

Cuadro 4.6. Z-scores del potasio extraíble, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.87	1.27	0.64
2202509	0.43	1.06	0.47
2202510	0.73	0.87	0.58
2202511	1.42	0.58	0.66
2202512	0.42	0.59	2.06
2202514	0.13	0.37	0.85
2202515	0.32	0.50	0.20
2202516	0.43	0.86	0.94
2202517	0.28	0.23	0.82
2202518	0.43	0.11	2.12
2202519	0.17	0.05	0.34
2202520	0.97	0.34	0.91
2202521	0.52	0.78	1.27
2202522	0.03	0.65	0.63
2202523			
2202524			
2202525	0.72	0.67	0.85
2202526	0.72	0.80	1.46
2202527	0.83	0.37	0.34
2202528	1.31	1.80	1.33
2202529	6.01	1.86	8.05
2202530	0.92	0.15	0.18
2202531			
2202533	1.52	0.62	0.47
2202535	0.96	2.90	2.88
2202536	0.57	1.99	3.14



4.4 Sodio Extraíble

Reportaron resultados para sodio los mismos laboratorios que reportaron resultados para Ca y Mg. Curiosamente, los laboratorios que presentan resultados fuera del rango aceptado, no se corresponden con los laboratorios que presentan resultados fuera de rango para los otros dos cationes (ver Cuadro ??).

Los coeficientes de variación para este análisis, muestran una mayor variabilidad en la determinación, aumentando, respecto a Ca, a 30 % y hasta 60 % en el caso de la muestra CQI-4, probablemente por su bajo contenido de sodio.

La mayorparte de los laboratorios con problemas, reportan valores atípicos para más de una muestra y siempre mayores al valor aceptado. Esto sugiere algún tipo de contaminación de la muestra o del material de análisis, reconociendo que este constituye uno de los problemas analíticos más reportados en la literatura debido a la naturaleza ubicua del sodio.

Cuadro 4.7. Comparación de resultados atípicos obtenidos entre laboratorios para cationes extraíbles.

Lab.	Ca	Mg	K	Na
2202509	atípico	✓	✓	atípico
2202510	✓	✓	atípico	✓
2202511	✓	atípico	✓	✓
2202512	✓	atípico	atípico	atípico
2202515	✓	atípico	✓	✓
2202518	atípico	✓	atípico	✓
2202525	✓	✓	✓	atípico
2202528	atípico	atípico	✓	
2202529			atípico	atípico
2202530	atípico	atípico	✓	✓
2202532	atípico	✓	✓	atípico
2202533	atípico	✓	✓	atípico
2202535	atípico	atípico	atípico	atípico
2202536	atípico	atípico	atípico	✓

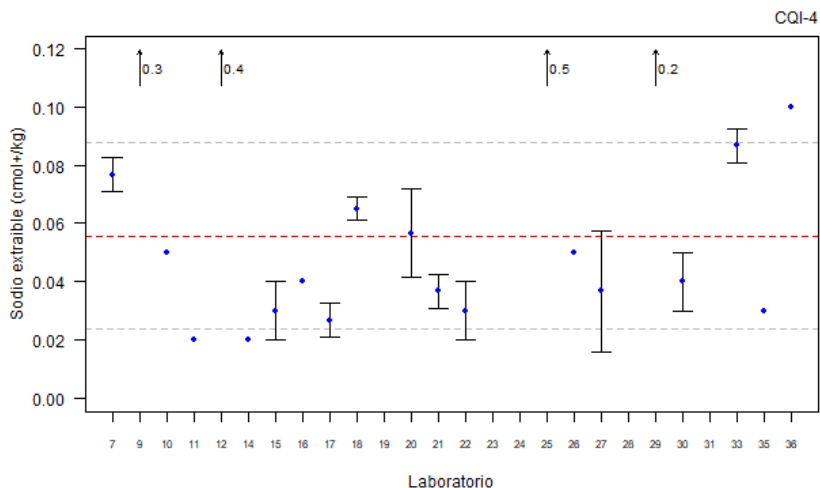


Figura 4.4.1. Valores reportados por cada laboratorio para sodio extraíble en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

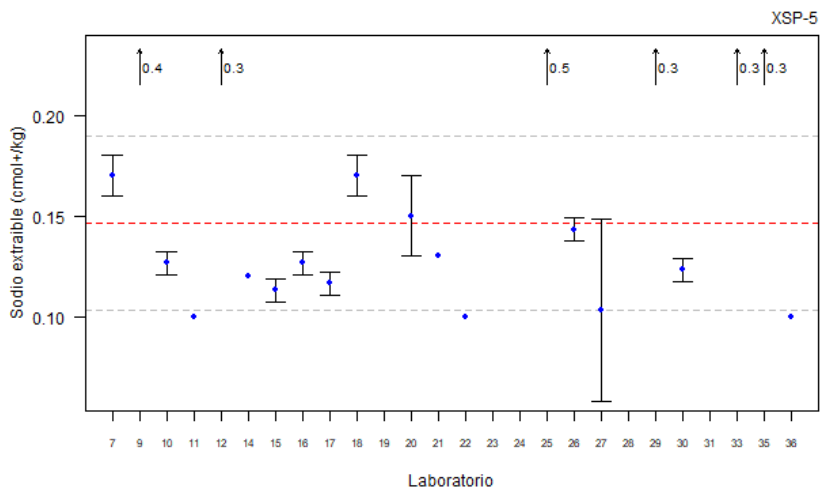


Figura 4.4.2. Valores reportados por cada laboratorio para sodio extraíble en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

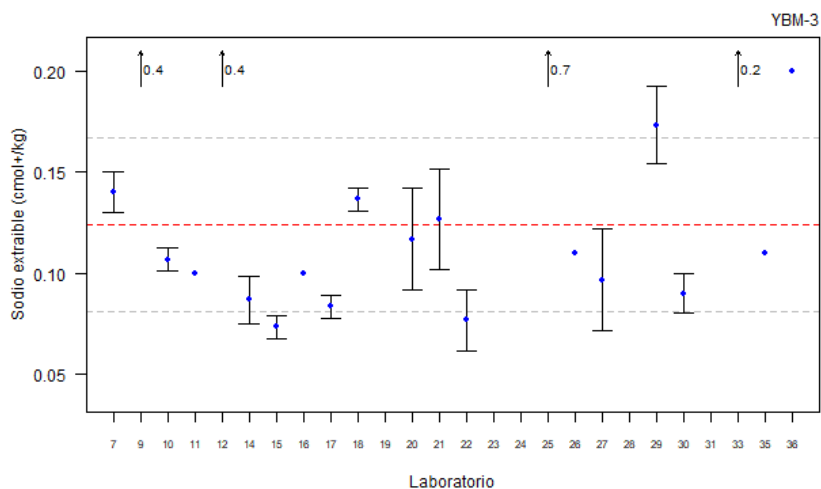


Figura 4.4.3. Valores reportados por cada laboratorio para sodio extraíble en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 4.8. Media y desviación estándar de sodio extraíble (cmol(+)/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0,08 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,14 ± 0,01
2202509	0,29 ± 0,03**	0,36 ± 0,03**	0,37 ± 0,03**
2202510	0,05 ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,11 ± 0,01
2202511	0,02 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00
2202512	0,39 ± 0,05**	0,34 ± 0,05**	0,40 ± 0,05**
2202514	0,02 ± 0,00	0,12 ± 0,00	0,09 ± 0,01
2202515	0,03 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,07 ± 0,01
2202516	0,04 ± 0,00	0,13 ± 0,01	0,10 ± 0,00
2202517	0,03 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,08 ± 0,01
2202518	0,06 ± 0,00	0,17 ± 0,01	0,14 ± 0,01
2202519			
2202520	0,06 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,12 ± 0,03
2202521	0,04 ± 0,01	0,13 ± 0,00	0,13 ± 0,03
2202522	0,03 ± 0,01	0,10 ± 0,00	0,08 ± 0,02
2202523			
2202524			
2202525	0,52 ± 0,10**	0,47 ± 0,08**	0,75 ± 0,05**
2202526	0,05 ± 0,00	0,14 ± 0,01	0,11 ± 0,00
2202527	0,04 ± 0,02	0,10 ± 0,05	0,10 ± 0,03
2202528			
2202529	0,23 ± 0,02**	0,30 ± 0,02**	0,17 ± 0,02
2202530	0,04 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,09 ± 0,01
2202531			
2202533	0,09 ± 0,01	0,26 ± 0,01*	0,22 ± 0,01*
2202535	0,03 ± 0,00	0,26 ± 0,00*	0,11 ± 0,00
2202536	0,10 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,20 ± 0,00
Media	0,11 ± 0,13	0,19 ± 0,11	0,17 ± 0,16
C.V	1,27	0,57	0,90
Aceptado	0,06 ± 0,03	0,15 ± 0,04	0,12 ± 0,04
C.V.	0,57	0,29	0,35

Cuadro 4.9. Z-scores del sodio extraíble, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.66	0.54	0.37
2202509	7.34	5.02	5.72
2202510	0.18	0.46	0.40
2202511	1.11	1.08	0.56
2202512	10.36	4.48	6.34
2202514	1.11	0.62	0.87
2202515	0.80	0.77	1.18
2202516	0.49	0.46	0.56
2202517	0.91	0.69	0.95
2202518	0.29	0.54	0.29
2202519			
2202520	0.03	0.08	0.17
2202521	0.59	0.38	0.06
2202522	0.80	1.08	1.10
2202523			
2202524			
2202525	14.43	7.56	14.49
2202526	0.18	0.08	0.33
2202527	0.59	1.00	0.64
2202528			
2202529	5.55	3.62	1.15
2202530	0.49	0.54	0.79
2202531			
2202533	0.97	2.70	2.31
2202535	0.80	2.62	0.33
2202536	1.39	1.08	1.77



4.5 Aluminio Extraíble

Este analito fue informado por 11 laboratorios (40 %), 4 menos que en la ronda anterior. Los resultados se ven afectados por una desviación estándar extremadamente alta respecto del valor aceptado, lo cual compromete gravemente la confiabilidad de los datos y sugiere la necesidad de revisar la metodología empleada, considerando que la variabilidad de los resultados nuevamente, en los tres casos, es de aproximadamente el 80 %. La revisión de la metodología es especialmente relevante debido a la importancia de este parámetro en los suelos ácidos del sur de Chile y su frecuente utilización en análisis asociados a programas y otras iniciativas para el manejo y recuperación de suelos. Estas desviaciones podrían afectar la interpretación agronómica de los resultados y las recomendaciones de manejo, evidenciando la necesidad de fortalecer la armonización metodológica entre laboratorios.

A pesar de que en esta oportunidad no se detectan casos evidentes de errores en el manejo de unidades, preocupa la inconsistencia de los resultados. En este sentido, el coeficiente de variación para el valor aceptado, en el mejor de los casos (muestra YBM-3) es dos veces superior a los observados para los otros cationes extractables.

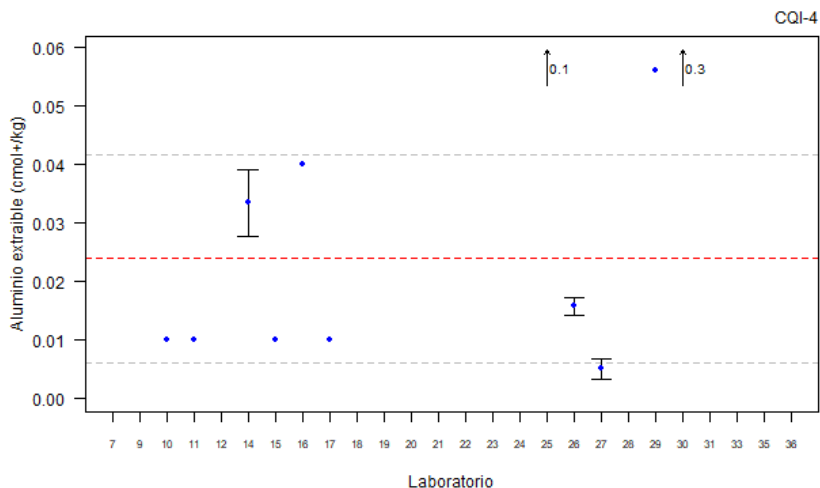


Figura 4.5.1. Valores reportados por cada laboratorio para aluminio extraíble en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

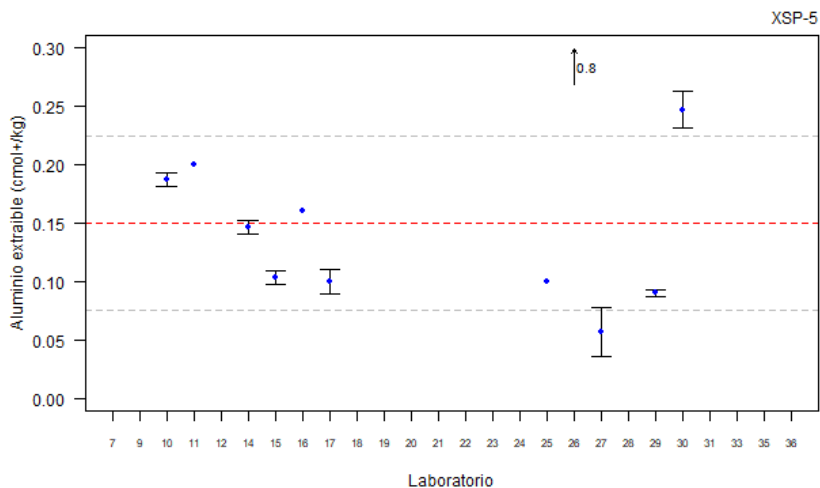


Figura 4.5.2. Valores reportados por cada laboratorio para aluminio extraíble en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

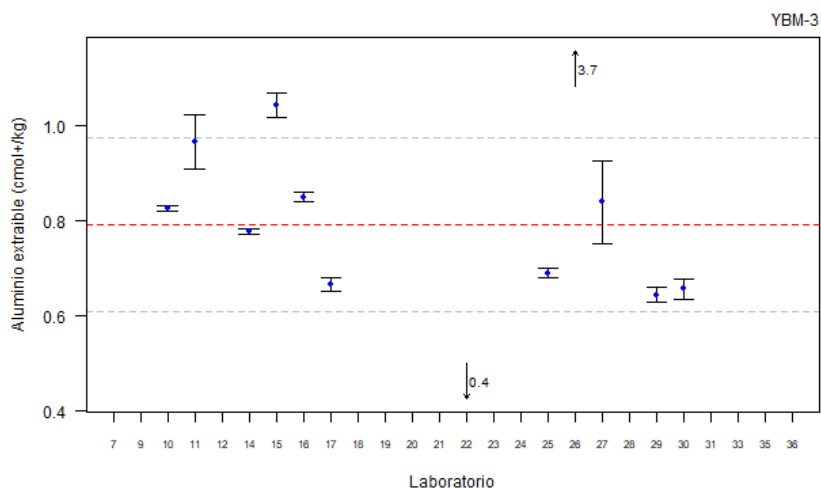


Figura 4.5.3. Valores reportados por cada laboratorio para aluminio extraíble en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 4.10. Media y desviación estándar de aluminio extraíble (cmol(+)/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510	0,01 ± 0,00	0,19 ± 0,01	0,83 ± 0,01
2202511	0,01 ± 0,00	0,20 ± 0,00	0,97 ± 0,06
2202512			
2202514	0,03 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,78 ± 0,01
2202515	0,01 ± 0,00	0,10 ± 0,01	1,04 ± 0,03
2202516	0,04 ± 0,00	0,16 ± 0,00	0,85 ± 0,01
2202517	0,01 ± 0,00	0,10 ± 0,01	0,67 ± 0,02
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522			0,36 ± 0,01*
2202523			
2202524			
2202525	< 0,10 ± 0,00**	< 0,10 ± 0,00	0,69 ± 0,01
2202526	0,02 ± 0,00	0,84 ± 0,06**	3,75 ± 0,26**
2202527	0,00 ± 0,00	0,06 ± 0,02	0,84 ± 0,09
2202528			
2202529	< 0,06 ± 0,00	0,09 ± 0,00	0,64 ± 0,02
2202530	0,27 ± 0,01**	0,25 ± 0,02	0,66 ± 0,02
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			
Media	0,05 ± 0,08	0,20 ± 0,21	1,01 ± 0,86
C.V	1,49	1,05	0,85
Aceptado	0,02 ± 0,02	0,15 ± 0,07	0,79 ± 0,18
C.V.	0,75	0,49	0,23

Cuadro 4.11. Z-scores del aluminio extraíble, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507			
2202509			
2202510	0.78	0.49	0.19
2202511	0.78	0.67	0.96
2202512			
2202514	0.53	0.04	0.09
2202515	0.78	0.63	1.38
2202516	0.91	0.13	0.32
2202517	0.78	0.67	0.69
2202518			
2202519			
2202520			
2202521			
2202522			2.39
2202523			
2202524			
2202525	4.28	0.67	0.56
2202526	0.46	9.31	16.20
2202527	1.06	1.26	0.26
2202528			
2202529	1.81	0.80	0.81
2202530	13.82	1.30	0.74
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			





Capítulo 5

Micronutrientes

5.1 Boro disponible

La determinación de micronutrientes disponibles tuvo una alta participación. En el caso del boro, 21 laboratorios participaron y sólo 6 no reportaron resultados. La variabilidad de la metodología es bastante alta, con un coeficiente de variación para el valor observado superior al 40 %. Para el caso del boro, 5 laboratorios (23 %) presentaron valores atípicos, sobrestimando en todos los casos el contenido de boro de la muestra.

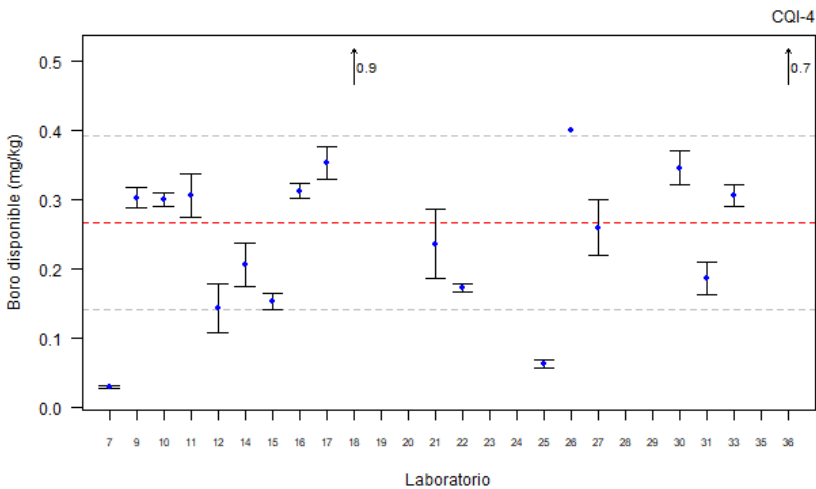


Figura 5.1.1. Valores reportados por cada laboratorio para boro disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

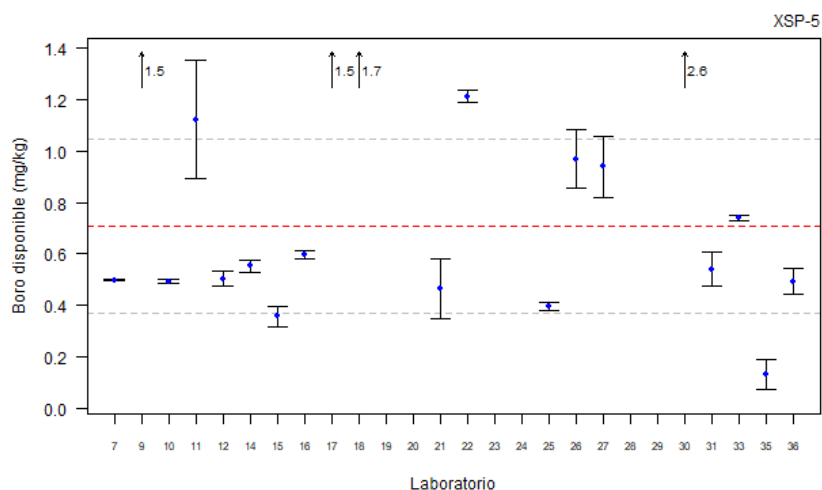


Figura 5.1.2. Valores reportados por cada laboratorio para boro disponible en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

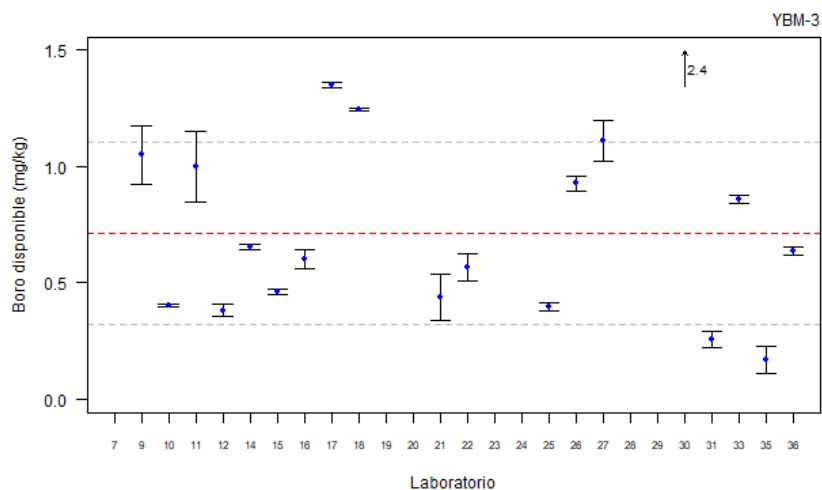


Figura 5.1.3. Valores reportados por cada laboratorio para boro disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 5.1. Media y desviación estándar de boro disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0,03 ± 0,00	0,50 ± 0,00	
2202509	0,30 ± 0,02	1,47 ± 0,23*	1,05 ± 0,12
2202510	0,30 ± 0,01	0,49 ± 0,01	0,40 ± 0,01
2202511	0,31 ± 0,03	1,12 ± 0,23	1,00 ± 0,15
2202512	0,14 ± 0,04	0,50 ± 0,03	0,38 ± 0,03
2202514	0,21 ± 0,03	0,55 ± 0,02	0,65 ± 0,01
2202515	0,15 ± 0,01	0,36 ± 0,04	0,46 ± 0,01
2202516	0,31 ± 0,01	0,60 ± 0,02	0,60 ± 0,04
2202517	0,35 ± 0,02	1,52 ± 0,04*	1,35 ± 0,01
2202518	0,85 ± 0,02**	1,75 ± 0,03**	1,25 ± 0,01
2202519			
2202520			
2202521	0,24 ± 0,05	0,46 ± 0,12	0,44 ± 0,10
2202522	0,17 ± 0,01	1,21 ± 0,03	0,57 ± 0,06
2202523			
2202524			
2202525	0,06 ± 0,01	0,40 ± 0,02	0,40 ± 0,02
2202526	< 0,40 ± 0,00	0,97 ± 0,11	0,93 ± 0,03
2202527	0,26 ± 0,04	0,94 ± 0,12	1,11 ± 0,09
2202528			
2202529			
2202530	0,35 ± 0,03	2,57 ± 0,10**	2,38 ± 0,03**
2202531	0,19 ± 0,02	0,54 ± 0,07	0,26 ± 0,04
2202533	0,31 ± 0,02	0,74 ± 0,01	0,86 ± 0,02
2202535		0,13 ± 0,06	0,17 ± 0,06
2202536	0,67 ± 0,06**	0,49 ± 0,05	0,64 ± 0,02
Media	0,29 ± 0,19	0,87 ± 0,59	0,78 ± 0,51
C.V.	0,65	0,68	0,65
Aceptado	0,27 ± 0,13	0,71 ± 0,34	0,71 ± 0,39
C.V.	0,47	0,48	0,55

Cuadro 5.2. Z-scores del boro disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	1.89	0.62	
2202509	0.29	2.25	0.86
2202510	0.26	0.64	0.79
2202511	0.31	1.23	0.73
2202512	0.99	0.61	0.85
2202514	0.49	0.46	0.16
2202515	0.91	1.04	0.65
2202516	0.37	0.33	0.28
2202517	0.68	2.39	1.63
2202518	4.67	3.07	1.36
2202519			
2202520			
2202521	0.25	0.72	0.70
2202522	0.75	1.49	0.38
2202523			
2202524			
2202525	1.63	0.92	0.81
2202526	1.06	0.77	0.54
2202527	0.06	0.68	1.01
2202528			
2202529			
2202530	0.63	5.51	4.26
2202531	0.64	0.50	1.17
2202533	0.31	0.09	0.37
2202535		1.70	1.40
2202536	3.18	0.64	0.20

5.2 Cobre disponible

El 77 % de los laboratorios participantes reportó la concentración de cobre de la muestra. De ellos, 5 presentaron valores atípicos. El coeficiente de variación del valor aceptado fue mayor al de la ronda anterior, sin embargo, aún se encuentra dentro de un rango aceptable, aunque no óptimo para la determinación de este micronutriente. En términos de manejo agrícola, sin embargo, la variación observada de $\pm 0,54$ a $\pm 1,16$ en los valores reportados no conlleva problemas en términos de fertilidad de suelos.

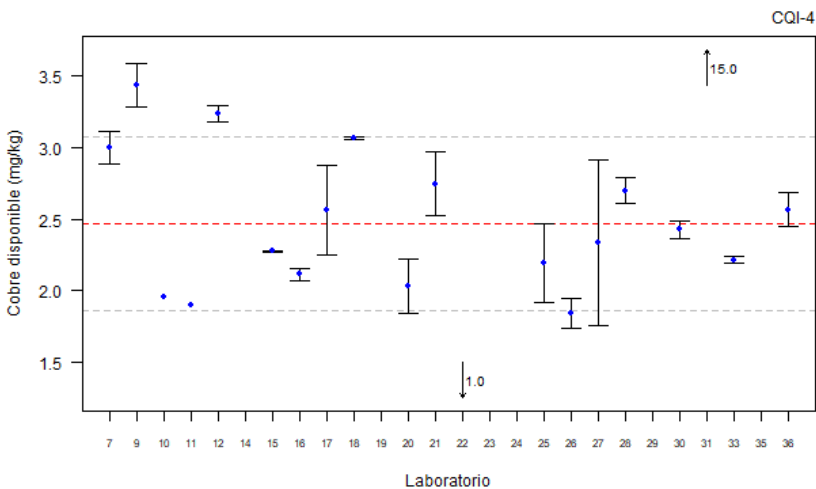


Figura 5.2.1. Valores reportados por cada laboratorio para cobre disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

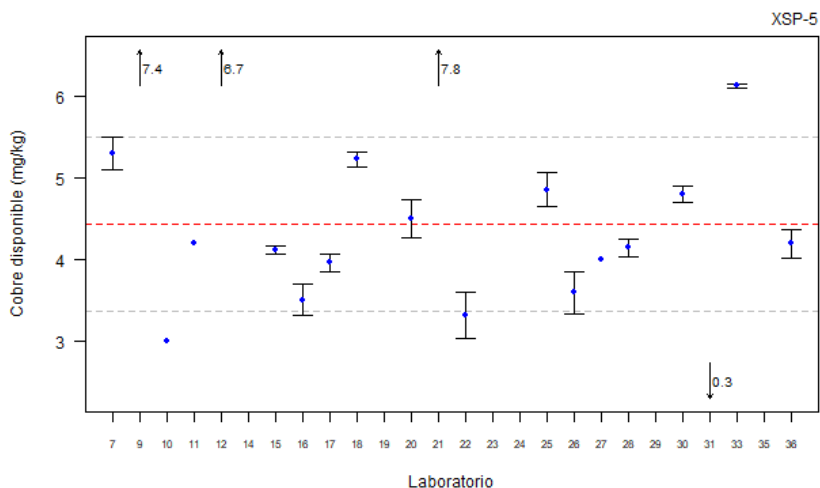


Figura 5.2.2. Valores reportados por cada laboratorio para cobre disponible en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

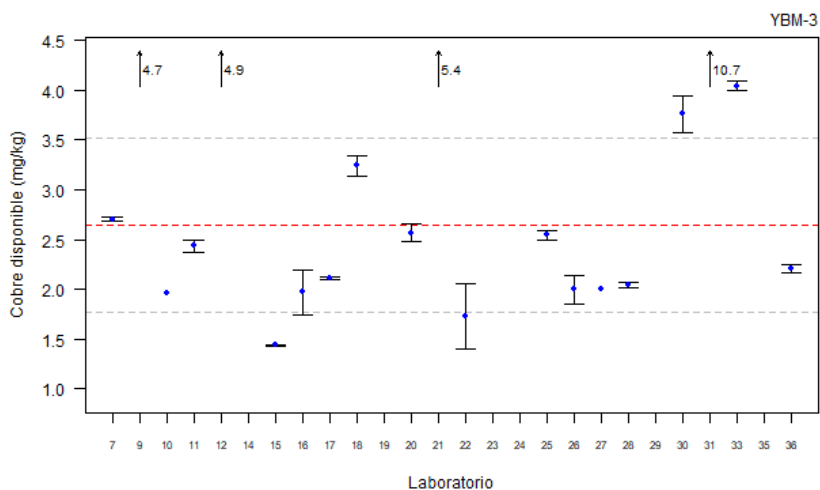


Figura 5.2.3. Valores reportados por cada laboratorio para cobre disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 5.3. Media y desviación estándar de cobre disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	3,00 ± 0,11	5,30 ± 0,20	2,70 ± 0,02
2202509	3,43 ± 0,15	7,37 ± 0,36*	4,73 ± 0,05*
2202510	1,95 ± 0,00	3,00 ± 0,00	1,96 ± 0,00
2202511	1,90 ± 0,00	4,20 ± 0,00	2,43 ± 0,06
2202512	3,23 ± 0,06	6,70 ± 0,26*	4,87 ± 0,29*
2202514			
2202515	2,27 ± 0,01	4,12 ± 0,05	1,44 ± 0,01
2202516	2,11 ± 0,04	3,50 ± 0,20	1,97 ± 0,22
2202517	2,56 ± 0,31	3,96 ± 0,11	2,11 ± 0,02
2202518	3,07 ± 0,01	5,23 ± 0,09	3,24 ± 0,10
2202519			
2202520	2,03 ± 0,19	4,50 ± 0,24	2,57 ± 0,09
2202521	2,75 ± 0,23	7,85 ± 0,63**	5,42 ± 0,34**
2202522	0,96 ± 0,02*	3,31 ± 0,29	1,73 ± 0,33
2202523			
2202524			
2202525	2,19 ± 0,28	4,86 ± 0,21	2,55 ± 0,05
2202526	1,84 ± 0,11	3,59 ± 0,26	2,00 ± 0,15
2202527	2,33 ± 0,58	4,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00
2202528	2,70 ± 0,09	4,14 ± 0,12	2,04 ± 0,03
2202529			
2202530	2,43 ± 0,06	4,80 ± 0,10	3,76 ± 0,19
2202531	15,00 ± 0,27**	0,31 ± 0,03**	10,74 ± 0,36**
2202533	2,21 ± 0,02	6,13 ± 0,03	4,04 ± 0,05
2202535			
2202536	2,57 ± 0,12	4,20 ± 0,18	2,21 ± 0,04
Media	3,03 ± 2,83	4,55 ± 1,64	3,23 ± 2,08
C.V.	0,93	0,36	0,64
Aceptado	2,47 ± 0,61	4,43 ± 1,07	2,65 ± 0,87
C.V.	0,25	0,24	0,33

Cuadro 5.4. Z-scores del cobre disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.87	0.81	0.06
2202509	1.59	2.74	2.39
2202510	0.85	1.34	0.78
2202511	0.93	0.22	0.24
2202512	1.26	2.12	2.54
2202514			
2202515	0.32	0.30	1.38
2202516	0.58	0.87	0.77
2202517	0.15	0.45	0.61
2202518	0.99	0.74	0.68
2202519			
2202520	0.72	0.06	0.09
2202521	0.46	3.19	3.18
2202522	2.48	1.05	1.05
2202523			
2202524			
2202525	0.46	0.39	0.11
2202526	1.04	0.79	0.74
2202527	0.22	0.40	0.74
2202528	0.38	0.27	0.69
2202529			
2202530	0.07	0.34	1.28
2202531	20.61	3.85	9.27
2202533	0.42	1.59	1.60
2202535			
2202536	0.16	0.22	0.49

5.3 Manganeso disponible

Los mismos laboratorios que reportaron resultados para cobre reportaron también resultados para manganeso. El coeficiente de variación del valor aceptado para este análisis llegó a superar el 40 %, lo que es bastante alto para una determinación a realizar mediante absorción atómica. De los 21 laboratorios que reportaron resultados, 8 informaron valores fuera del rango aceptado. A pesar del resultado errático observado, el coeficiente de variación general de las muestras es hasta cuatro veces más pequeño al observado en la ronda anterior, lo que indica cierta mejora en la implementación de la técnica analítica. De todas formas, los resultados enfatizan la necesidad de reforzar, mediante capacitaciones técnicas, los criterios relacionados con la metodología requerida para el reporte de resultados, especialmente en determinaciones de micronutrientes, con el fin de evitar el uso de metodologías alternativas que puedan incrementar la variabilidad observada entre laboratorios.

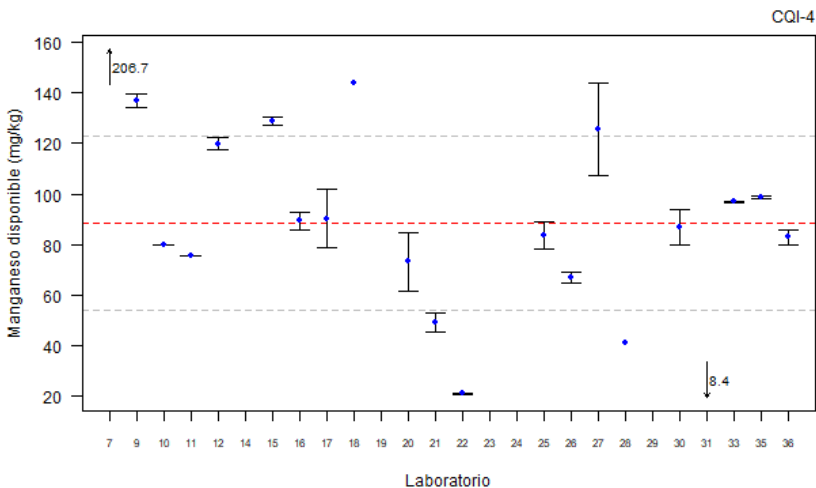


Figura 5.3.1. Valores reportados por cada laboratorio para manganeso disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

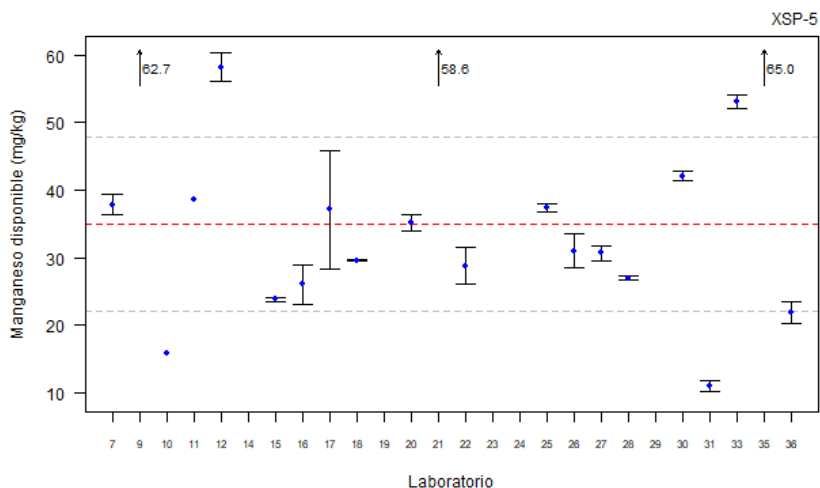


Figura 5.3.2. Valores reportados por cada laboratorio para manganeso disponible en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

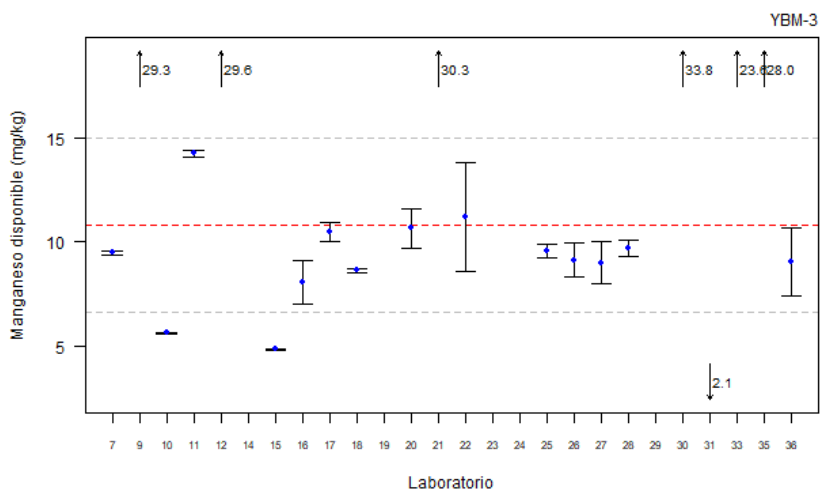


Figura 5.3.3. Valores reportados por cada laboratorio para manganeso disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 5.5. Media y desviación estándar de manganeso disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	206,70 ± 1,28**	37,83 ± 1,48	9,50 ± 0,10
2202509	137,00 ± 2,65	62,67 ± 0,15*	29,33 ± 0,32**
2202510	79,87 ± 0,12	15,90 ± 0,00	5,63 ± 0,06
2202511	75,53 ± 0,12	38,50 ± 0,00	14,23 ± 0,15
2202512	119,90 ± 2,55	58,20 ± 2,08	29,63 ± 0,75**
2202514			
2202515	128,77 ± 1,67	23,87 ± 0,29	4,85 ± 0,02
2202516	89,33 ± 3,51	26,00 ± 3,00	8,08 ± 1,03
2202517	90,35 ± 11,80	37,12 ± 8,76	10,48 ± 0,48
2202518	144,00 ± 0,00	29,62 ± 0,10	8,64 ± 0,08
2202519			
2202520	73,29 ± 11,65	35,16 ± 1,19	10,65 ± 0,94
2202521	49,23 ± 3,84	58,56 ± 3,80	30,31 ± 2,52**
2202522	20,97 ± 0,35	28,80 ± 2,70	11,20 ± 2,61
2202523			
2202524			
2202525	83,67 ± 5,51	37,33 ± 0,58	9,57 ± 0,33
2202526	67,05 ± 2,14	31,01 ± 2,45	9,13 ± 0,81
2202527	125,67 ± 18,50	30,67 ± 1,15	9,00 ± 1,00
2202528	40,90 ± 0,00	27,00 ± 0,36	9,70 ± 0,39
2202529			
2202530	87,00 ± 7,00	42,07 ± 0,67	33,83 ± 0,35**
2202531	8,45 ± 0,26*	10,92 ± 0,78	2,07 ± 0,28*
2202533	96,93 ± 0,40	53,17 ± 0,98	23,57 ± 0,93**
2202535	98,67 ± 0,58	65,00 ± 0,00*	28,00 ± 0,00**
2202536	82,87 ± 3,02	21,82 ± 1,65	9,06 ± 1,66
Media	90,77 ± 43,85	36,72 ± 15,05	14,59 ± 9,73
C.V.	0,48	0,41	0,67
Aceptado	88,53 ± 34,43	34,99 ± 12,89	10,82 ± 4,17
C.V.	0,39	0,37	0,39

Cuadro 5.6. Z-scores del manganeso disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	3.43	0.22	0.32
2202509	1.41	2.15	4.44
2202510	0.25	1.48	1.24
2202511	0.38	0.27	0.82
2202512	0.91	1.80	4.51
2202514			
2202515	1.17	0.86	1.43
2202516	0.02	0.70	0.66
2202517	0.05	0.17	0.08
2202518	1.61	0.42	0.52
2202519			
2202520	0.44	0.01	0.04
2202521	1.14	1.83	4.68
2202522	1.96	0.48	0.09
2202523			
2202524			
2202525	0.14	0.18	0.30
2202526	0.62	0.31	0.41
2202527	1.08	0.34	0.44
2202528	1.38	0.62	0.27
2202529			
2202530	0.04	0.55	5.52
2202531	2.33	1.87	2.10
2202533	0.24	1.41	3.06
2202535	0.29	2.33	4.12
2202536	0.16	1.02	0.42

5.4 Hierro disponible

El 81 % de los laboratorios participantes reportaron resultados para hierro. Al igual que para los otros micronutrientes, el coeficiente de variación general de la prueba fue desde la mitad hasta un tercio más pequeño respecto a la ronda anterior. Sin embargo, es importante considerar que los suelos analizados en esta oportunidad contenían una mayor concentración de hierro que aquellos analizados en la Ronda 2024/2.

De los 22 laboratorios que reportaron resultados, 6 presentaron valores fuera del rango aceptado (27 %). En términos generales, la reproducibilidad de método es satisfactoria, ya que, aún con suelos con altas concentraciones de Fe, el coeficiente de variación para los valores aceptados llegó incluso al 50 % en el caso de la muestra CQI-4.

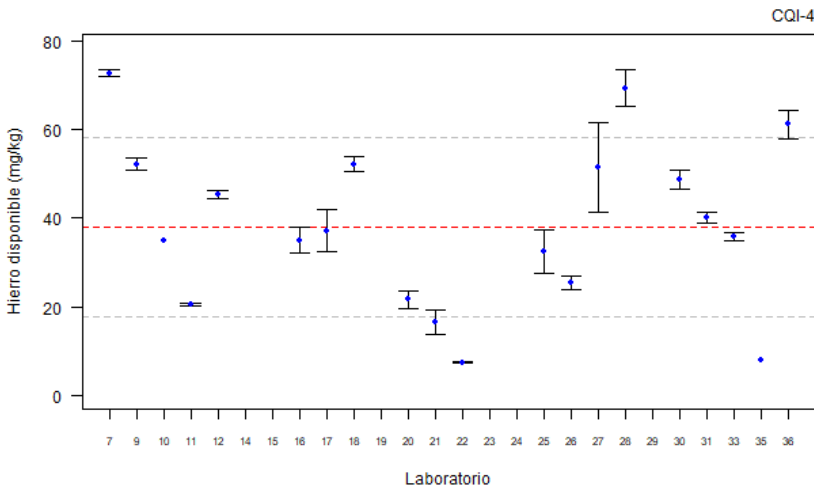


Figura 5.4.1. Valores reportados por cada laboratorio para hierro disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

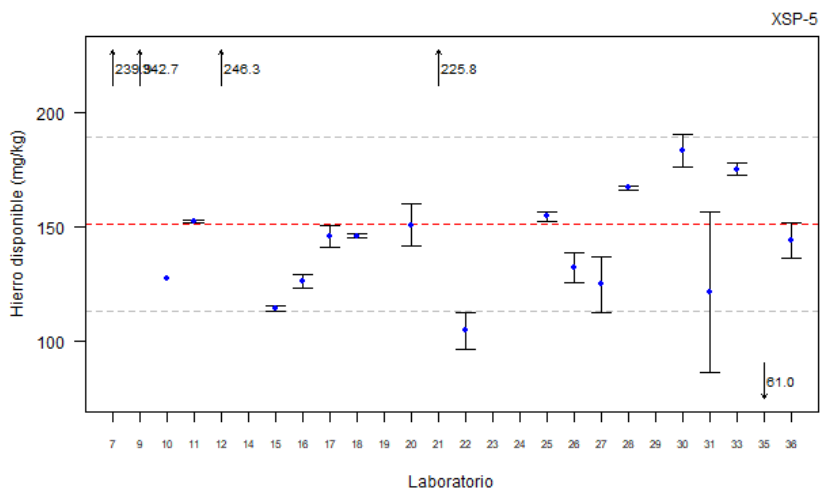


Figura 5.4.2. Valores reportados por cada laboratorio para hierro disponible en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

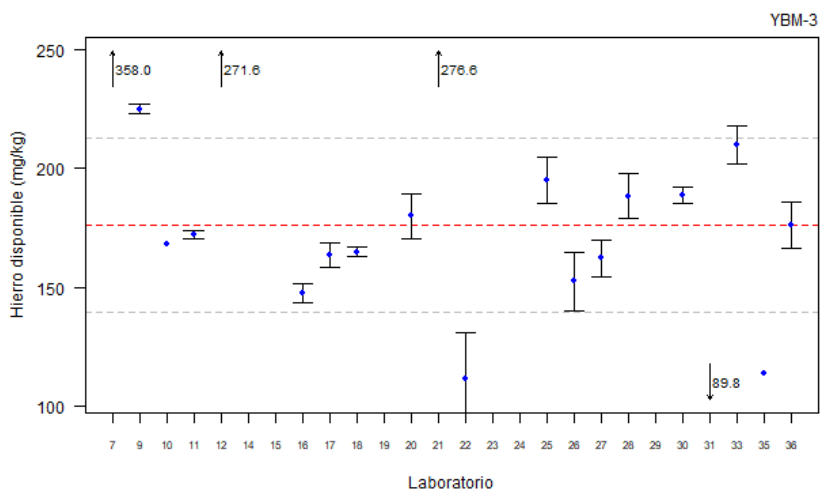


Figura 5.4.3. Valores reportados por cada laboratorio para hierro disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 5.7. Media y desviación estándar de hierro disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	72,73 ± 0,76	239,93 ± 4,25*	358,03 ± 2,37**
2202509	52,17 ± 1,38	342,67 ± 0,58**	225,00 ± 2,00
2202510	34,80 ± 0,00	127,30 ± 0,00	168,10 ± 0,00
2202511	20,47 ± 0,25	152,33 ± 0,58	172,00 ± 1,73
2202512	45,37 ± 0,85	246,27 ± 4,16*	271,63 ± 7,59*
2202514			
2202515		114,57 ± 1,39	
2202516	35,00 ± 3,00	126,33 ± 3,06	147,67 ± 4,16
2202517	37,08 ± 4,74	146,08 ± 4,79	163,38 ± 5,12
2202518	52,20 ± 1,80	146,00 ± 1,00	165,00 ± 2,00
2202519			
2202520	21,60 ± 1,92	150,87 ± 9,25	180,00 ± 9,27
2202521	16,41 ± 2,74	225,82 ± 8,17	276,60 ± 12,76*
2202522	7,39 ± 0,16	105,00 ± 8,00	111,33 ± 19,50
2202523			
2202524			
2202525	32,33 ± 4,93	154,67 ± 2,08	195,00 ± 9,64
2202526	25,41 ± 1,56	132,28 ± 6,54	152,57 ± 12,26
2202527	51,33 ± 10,12	125,00 ± 12,17	162,33 ± 7,77
2202528	69,37 ± 4,15	167,00 ± 1,00	188,33 ± 9,29
2202529			
2202530	48,67 ± 2,08	183,00 ± 7,00	188,67 ± 3,51
2202531	40,10 ± 1,22	121,83 ± 34,95	89,77 ± 2,21*
2202533	35,93 ± 0,91	175,00 ± 2,65	210,00 ± 8,00
2202535	8,00 ± 0,00	61,00 ± 0,00*	114,00 ± 0,00
2202536	61,20 ± 3,24	144,21 ± 7,74	176,15 ± 9,87
Media	38,38 ± 18,48	161,29 ± 60,19	185,78 ± 60,91
C.V.	0,48	0,37	0,33
Aceptado	38,04 ± 20,20	151,25 ± 37,87	176,24 ± 36,55
C.V.	0,53	0,25	0,21

Cuadro 5.8. Z-scores del hierro disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	1.72	2.34	4.97
2202509	0.70	5.05	1.33
2202510	0.16	0.63	0.22
2202511	0.87	0.03	0.12
2202512	0.36	2.51	2.61
2202514			
2202515		0.97	
2202516	0.15	0.66	0.78
2202517	0.05	0.14	0.35
2202518	0.70	0.14	0.31
2202519			
2202520	0.81	0.01	0.10
2202521	1.07	1.97	2.75
2202522	1.52	1.22	1.78
2202523			
2202524			
2202525	0.28	0.09	0.51
2202526	0.63	0.50	0.65
2202527	0.66	0.69	0.38
2202528	1.55	0.42	0.33
2202529			
2202530	0.53	0.84	0.34
2202531	0.10	0.78	2.37
2202533	0.10	0.63	0.92
2202535	1.49	2.38	1.70
2202536	1.15	0.19	0.00

5.5 Zinc disponible

El mismo número de laboratorios que reportó resultados para Mn y Cu lo hizo para Zn (n = 21). De estos, 4 informaron valores fuera del rango aceptado, sobre o subestimando la concentración del elemento. El coeficiente de variación general disminuyó respecto a la ronda anterior, sin embargo, los coeficientes de variación para los valores aceptados se observaron sobre el 20 % lo que indica una reproducibilidad aceptable, pero no ideal para la evaluación de Zn disponible.

Los laboratorios que reportaron valores fuera de rango para Zn, generalmente reportaron también valores atípicos para los otros micronutrientes extraídos con DTPA (ver Cuadro 5.9). Esto indica que, probablemente, haya problemas en la implementación del método, atendiendo a que el manual de metodologías publicado en 1990 tiene menor grado de detalle respecto a la publicación posterior del año 2006.

Cuadro 5.9. Laboratorios que presentaron valores atípicos para las pruebas de micronutrientes.

Lab.	Cu	Mn	Fe	Zn
2202507	✓	atípico	atípico	✓
2202509	atípico	atípico	atípico	atípico
2202512	atípico	atípico	atípico	✓
2202521	atípico	atípico	atípico	atípico
2202522	atípico	atípico	✓	✓
2202530	✓	atípico	✓	✓
2202531	atípico	atípico	atípico	
2202535		atípico	atípico	atípico

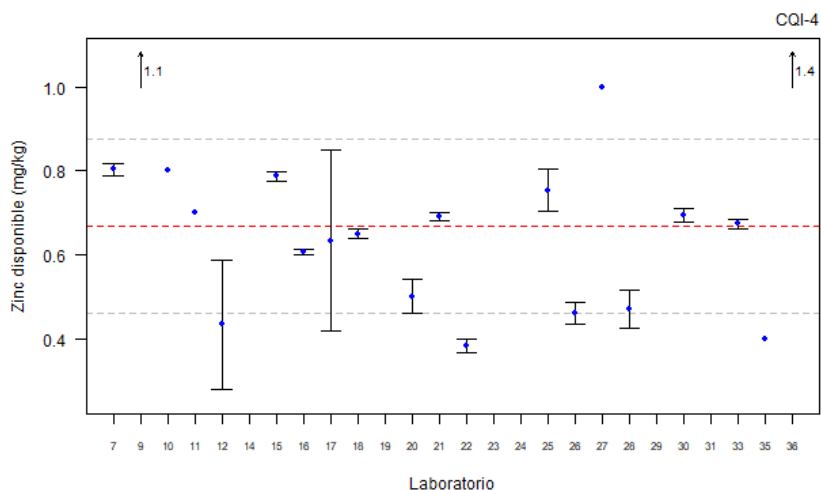


Figura 5.5.1. Valores reportados por cada laboratorio para zinc disponible en la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

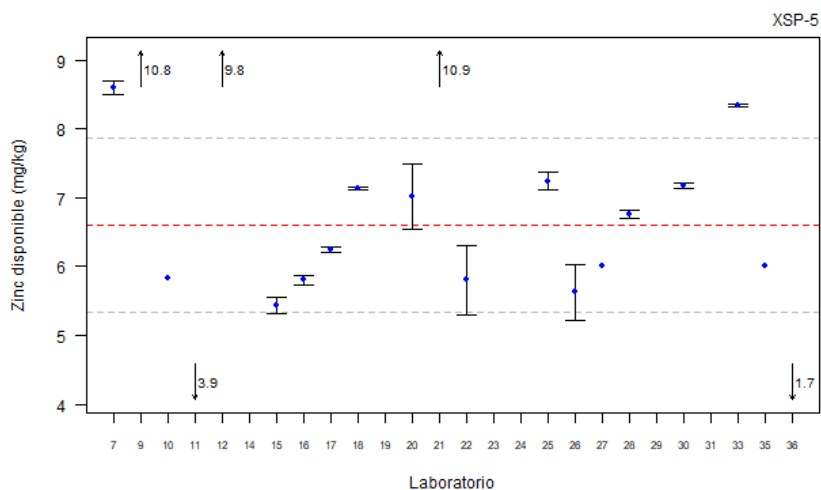


Figura 5.5.2. Valores reportados por cada laboratorio para zinc disponible en la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

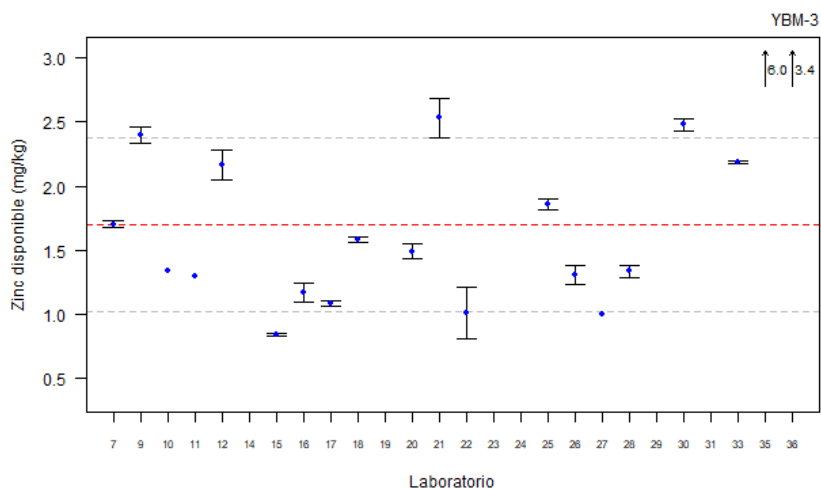


Figura 5.5.3. Valores reportados por cada laboratorio para zinc disponible en la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 5.10. Media y desviación estándar de zinc disponible (mg/kg) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0,80 ± 0,02	8,60 ± 0,10	1,70 ± 0,03
2202509	1,11 ± 0,02*	10,80 ± 0,07**	2,40 ± 0,06
2202510	0,80 ± 0,00	5,83 ± 0,00	1,34 ± 0,00
2202511	0,70 ± 0,00	3,90 ± 0,00*	1,30 ± 0,00
2202512	0,43 ± 0,15	9,80 ± 0,17*	2,17 ± 0,12
2202514			
2202515	0,79 ± 0,01	5,43 ± 0,11	0,84 ± 0,02
2202516	0,61 ± 0,01	5,80 ± 0,06	1,17 ± 0,07
2202517	0,63 ± 0,22	6,25 ± 0,04	1,08 ± 0,02
2202518	0,65 ± 0,01	7,14 ± 0,02	1,58 ± 0,02
2202519			
2202520	0,50 ± 0,04	7,02 ± 0,47	1,49 ± 0,06
2202521	0,69 ± 0,01	10,95 ± 0,78**	2,53 ± 0,15
2202522	0,38 ± 0,02	5,80 ± 0,51	1,01 ± 0,20
2202523			
2202524			
2202525	0,75 ± 0,05	7,24 ± 0,12	1,85 ± 0,04
2202526	0,46 ± 0,03	5,63 ± 0,40	1,31 ± 0,07
2202527	1,00 ± 0,00	6,00 ± 0,00	1,00 ± 0,00
2202528	0,47 ± 0,05	6,76 ± 0,06	1,34 ± 0,05
2202529			
2202530	0,69 ± 0,02	7,17 ± 0,04	2,48 ± 0,05
2202531			
2202533	0,67 ± 0,01	8,34 ± 0,03	2,19 ± 0,01
2202535	0,40 ± 0,00	6,00 ± 0,00	6,00 ± 0,00**
2202536	1,43 ± 0,06**	1,72 ± 0,27**	3,35 ± 0,55*
Media	0,70 ± 0,26	6,81 ± 2,15	1,91 ± 1,15
C.V	0,37	0,32	0,60
Aceptado	0,67 ± 0,21	6,60 ± 1,26	1,70 ± 0,68
C.V.	0,31	0,19	0,40

Cuadro 5.11. Z-scores del zinc disponible, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	0.65	1.58	0.00
2202509	2.11	3.32	1.03
2202510	0.64	0.61	0.53
2202511	0.15	2.14	0.59
2202512	1.13	2.53	0.69
2202514			
2202515	0.57	0.92	1.27
2202516	0.30	0.63	0.78
2202517	0.17	0.28	0.91
2202518	0.09	0.43	0.18
2202519			
2202520	0.81	0.33	0.31
2202521	0.10	3.44	1.23
2202522	1.37	0.63	1.02
2202523			
2202524			
2202525	0.41	0.50	0.23
2202526	1.00	0.77	0.58
2202527	1.60	0.48	1.04
2202528	0.96	0.12	0.54
2202529			
2202530	0.12	0.45	1.15
2202531			
2202533	0.02	1.37	0.72
2202535	1.29	0.48	6.36
2202536	3.69	3.86	2.45



Capítulo 6

Textura

Los laboratorios informantes para los contenidos de arena, limo y arcilla no fueron suficientes para presentar valores robustos de reproducibilidad. De todas maneras se realizó el análisis y discriminación de valores fuera de rango para estos tres tamaños de partícula. Dentro de todo, llama la atención la gran dispersión de los datos. Por ejemplo, para el contenido de arcilla, el laboratorio 07 reportó 2 %, el laboratorio 25 reportó 15 % y el laboratorio 27 reportó 57 %. Esta situación, tan contrastante, revela que, a pesar de los esfuerzos realizados, es importante continuar con el ensayo y el apoyo en la implementación de técnicas analíticas, particularmente de física de suelos.



6.1 Arena

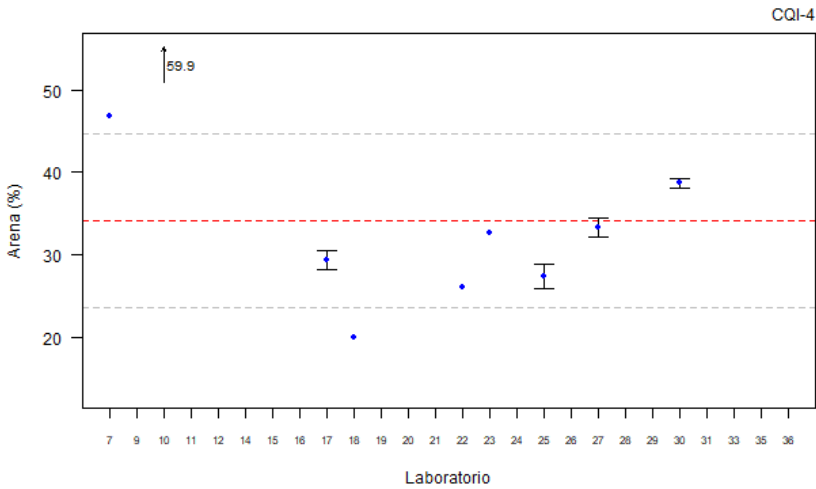


Figura 6.1.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de arena de la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

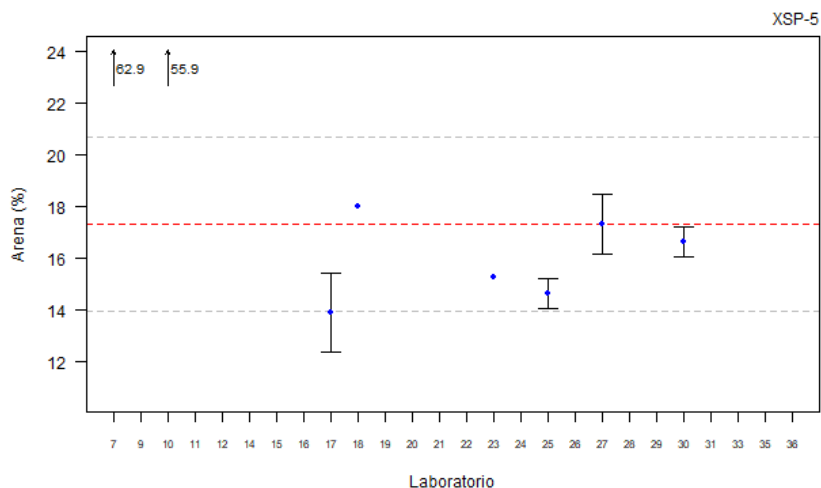


Figura 6.1.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de arena de la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

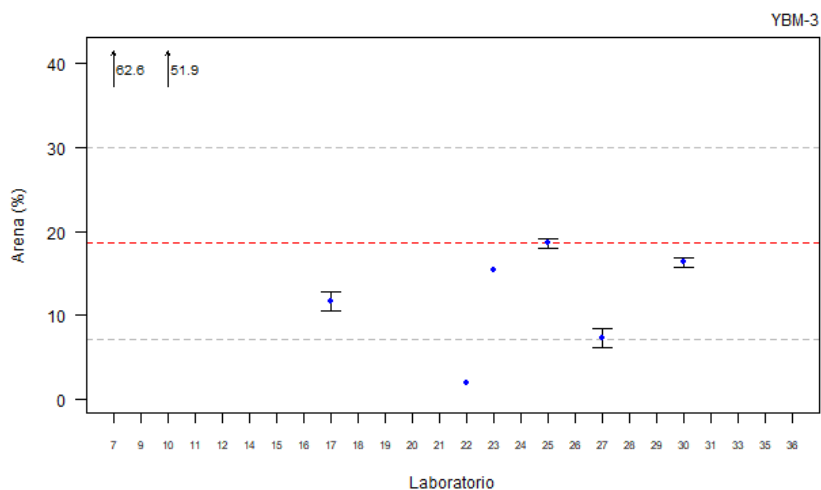


Figura 6.1.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de arena de la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 6.1. Media y desviación estándar de arena (%) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	46,74 ± 0,01	62,93 ± 0,00**	62,62 ± 0,00**
2202509			
2202510	59,90 ± 0,00*	55,90 ± 0,00**	51,90 ± 0,00*
2202511			
2202512			
2202514			
2202515			
2202516			
2202517	29,33 ± 1,15	13,90 ± 1,54	11,67 ± 1,08
2202518	20,00 ± 0,00	18,00 ± 0,00	
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	26,00±	2,00±**	2,00±
2202523	32,68±	15,30±	15,31±
2202524			
2202525	27,33 ± 1,53	14,67 ± 0,58	18,57 ± 0,51
2202526			
2202527	33,33 ± 1,15	17,33 ± 1,15	7,33 ± 1,15
2202528			
2202529			
2202530	38,67 ± 0,58	16,67 ± 0,58	16,33 ± 0,58
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			
Media	35,85 ± 12,34	26,76 ± 20,18	26,13 ± 21,57
C.V.	0,34	0,75	0,83
Aceptado	34,13 ± 10,55	17,33 ± 3,36	18,61 ± 11,46
C.V.	0,31	0,19	0,62

Cuadro 6.2. Z-scores del arena, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	1.19	13.57	3.84
2202509			
2202510	2.44	11.48	2.91
2202511			
2202512			
2202514			
2202515			
2202516			
2202517	0.46	1.02	0.61
2202518	1.34	0.20	
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0.77	4.56	1.45
2202523	0.14	0.60	0.29
2202524			
2202525	0.64	0.79	0.00
2202526			
2202527	0.08	0.00	0.98
2202528			
2202529			
2202530	0.43	0.20	0.20
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			

6.2 Limo

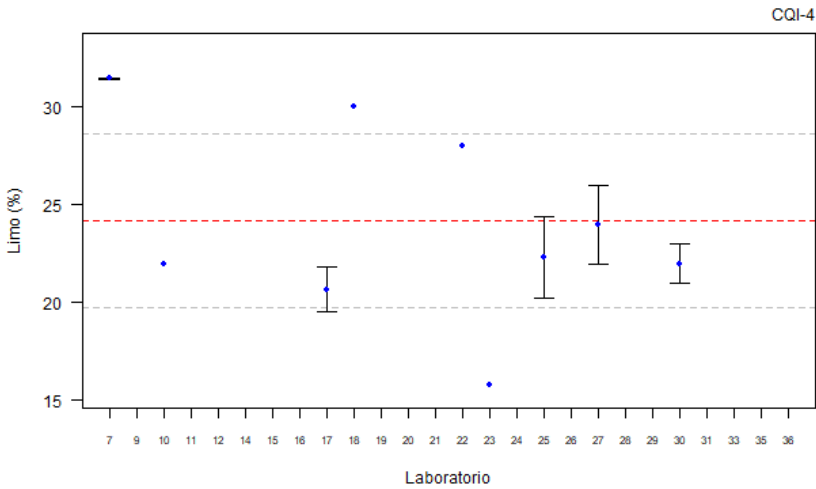


Figura 6.2.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de limo de la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

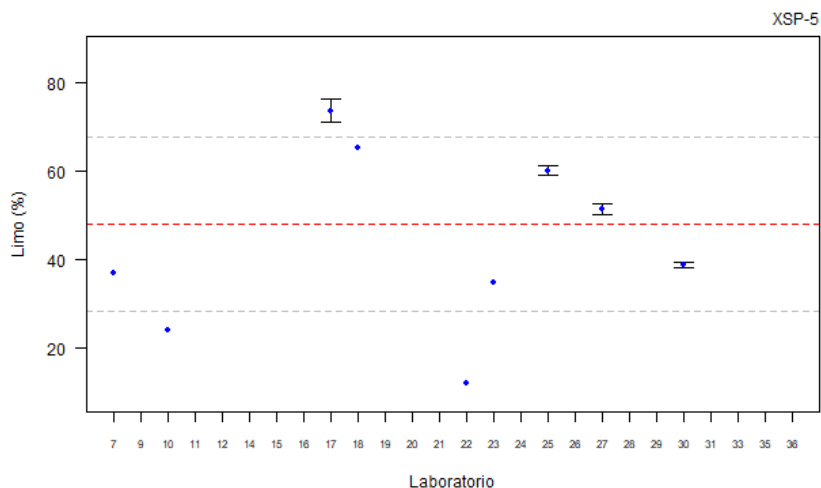


Figura 6.2.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de limo de la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

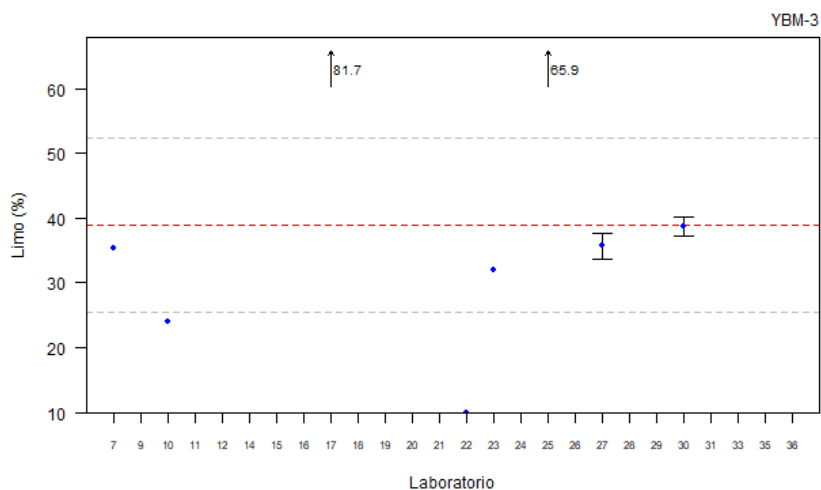


Figura 6.2.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de limo de la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 6.3. Media y desviación estándar de limo (%) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	31,45 ± 0,01	36,79 ± 0,00	35,41 ± 0,01
2202509			
2202510	22,00 ± 0,00	23,90 ± 0,00	23,90 ± 0,00
2202511			
2202512			
2202514			
2202515			
2202516			
2202517	20,67 ± 1,15	73,43 ± 2,58	81,70 ± 1,22**
2202518	30,00 ± 0,00	65,00 ± 0,00	
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	28,00±	12,00±	10,00±*
2202523	15,81±	34,57±	32,05±
2202524			
2202525	22,33 ± 2,08	60,00 ± 1,00	65,93 ± 0,12*
2202526			
2202527	24,00 ± 2,00	51,33 ± 1,15	35,67 ± 2,08
2202528			
2202529			
2202530	22,00 ± 1,00	38,67 ± 0,58	38,67 ± 1,53
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			
Media	24,40 ± 4,48	47,56 ± 18,02	44,29 ± 21,46
C.V.	0,18	0,38	0,48
Aceptado	24,20 ± 4,44	47,94 ± 19,65	38,94 ± 13,45
C.V.	0,18	0,41	0,35

Cuadro 6.4. Z-scores del limo, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	1.63	0.57	0.26
2202509			
2202510	0.50	1.22	1.12
2202511			
2202512			
2202514			
2202515			
2202516			
2202517	0.80	1.30	3.18
2202518	1.31	0.87	
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0.86	1.83	2.15
2202523	1.89	0.68	0.51
2202524			
2202525	0.42	0.61	2.01
2202526			
2202527	0.04	0.17	0.24
2202528			
2202529			
2202530	0.50	0.47	0.02
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			

6.3 Arcilla

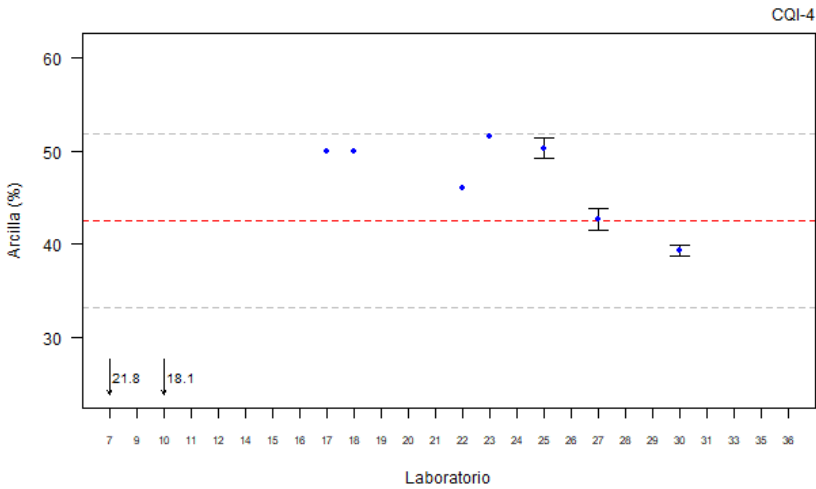


Figura 6.3.1. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de arcilla de la muestra CQI-4. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

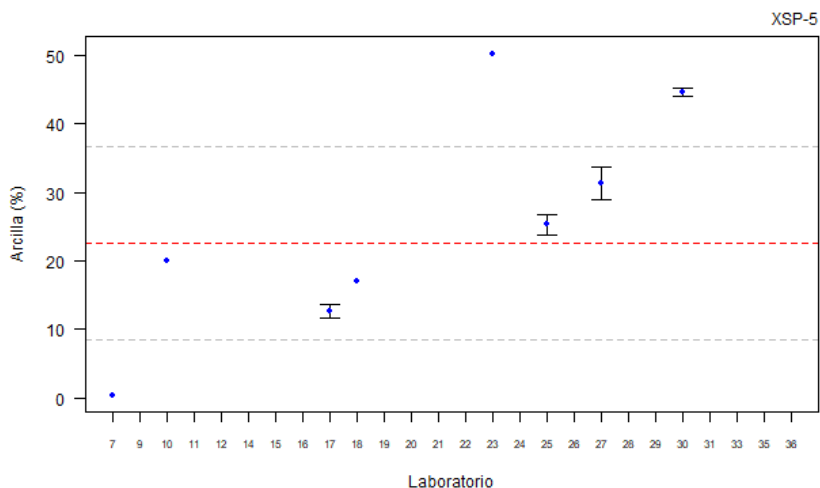


Figura 6.3.2. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de arcilla de la muestra XSP-5. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

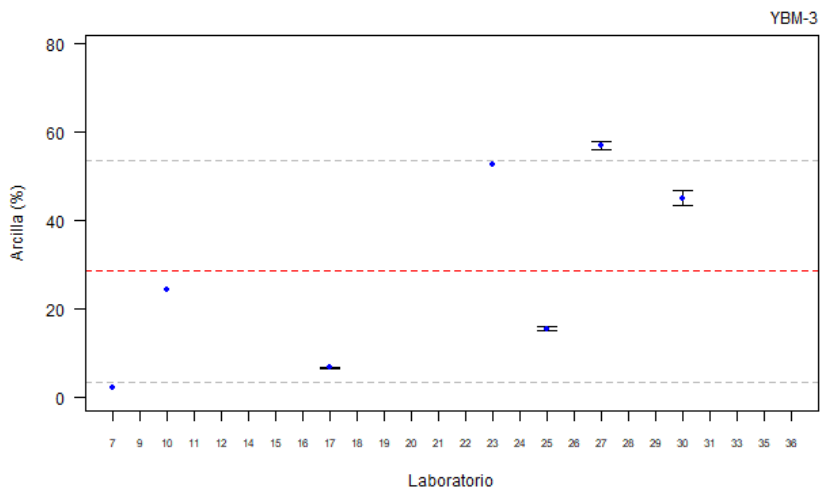


Figura 6.3.3. Valores reportados por cada laboratorio para el contenido de arcilla de la muestra YBM-3. Las líneas segmentadas representan la media (rojo) y la desviación estándar (gris).

Cuadro 6.5. Media y desviación estándar de arcilla (%) para cada muestra analizada en la ronda.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	21,81 ± 0,01*	0,27 ± 0,00	1,97 ± 0,01
2202509			
2202510	18,10 ± 0,00*	20,10 ± 0,00	24,20 ± 0,00
2202511			
2202512			
2202514			
2202515			
2202516			
2202517	50,00 ± 0,00	12,67 ± 1,04	6,63 ± 0,15
2202518	50,00 ± 0,00	17,00 ± 0,00	
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	46,00±	86,00±**	88,00±*
2202523	51,51±	50,13±	52,64±
2202524			
2202525	50,33 ± 1,15	25,33 ± 1,53	15,50 ± 0,50
2202526			
2202527	42,67 ± 1,15	31,33 ± 2,31	57,00 ± 1,00
2202528			
2202529			
2202530	39,33 ± 0,58	44,67 ± 0,58	45,00 ± 1,73
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			
Media	39,75 ± 12,70	25,66 ± 19,30	29,58 ± 24,57
C.V.	0,32	0,75	0,83
Aceptado	42,54 ± 9,34	22,60 ± 14,11	28,49 ± 25,20
C.V.	0,22	0,62	0,88

Cuadro 6.6. Z-scores del arcilla, calculados utilizando el valor aceptado y su desviación estándar, para cada laboratorio y muestra.

LAB.	CQI-4	XSP-5	YBM-3
2202507	2.22	1.58	1.05
2202509			
2202510	2.62	0.18	0.17
2202511			
2202512			
2202514			
2202515			
2202516			
2202517	0.80	0.70	0.87
2202518	0.80	0.40	
2202519			
2202520			
2202521			
2202522	0.37	4.49	2.36
2202523	0.96	1.95	0.96
2202524			
2202525	0.83	0.19	0.52
2202526			
2202527	0.01	0.62	1.13
2202528			
2202529			
2202530	0.34	1.56	0.66
2202531			
2202533			
2202535			
2202536			

Capítulo 7

Ideas finales

Para sintetizar el desempeño global de cada participante, calculamos un puntaje de fiabilidad analítica. Este valor representa la proporción de muestras y analitos reportados que se situaron dentro del rango aceptado (determinado mediante el Algoritmo A de la norma ISO 13528:2022).

De este modo, se sumó un punto a cada laboratorio por cada muestra reportada dentro del rango aceptado. Si el laboratorio no reportó o reportó un valor fuera de rango, no tuvo puntaje para esa combinación muestra-analito. Dado que el total de metodologías a evaluar fue de 25 y el ejercicio de intercomparación en esta oportunidad contó con 3 muestras a analizar, el puntaje máximo teórico para el ejercicio fue de 75 puntos.

El puntaje se expresó como proporción. En otras palabras, un puntaje de 100 % indica que el laboratorio informó la totalidad de los analitos solicitados y los resultados informados consistentes con el valor aceptado calculado. Así mismo, un puntaje de 0 % refleja que el laboratorio no reportó datos o que todos sus resultados estuvieron fuera del rango de tolerancia estadística. Indicamos los puntajes así obtenidos para cada laboratorio en la figura 7.0.1.

Los resultados muestran una alta variabilidad en la capacidad analítica de los 27 laboratorios participantes. Destacan los laboratorios 17 (92 %), 16 (88 %), 27 (88 %) y 10 (83 %), quienes mantienen resultados dentro del rango en la mayoría de los parámetros evaluados.

Existe un grupo significativo de laboratorios (como 11, 15, 22 y 25) con puntajes entre el 60 % y 80 %, lo que indica una buena base técnica, pero con oportunidades de mejora en analitos específicos o de implementación de metodologías faltantes.

Finalmente, preocupa el desempeño de laboratorios con puntajes inferiores al

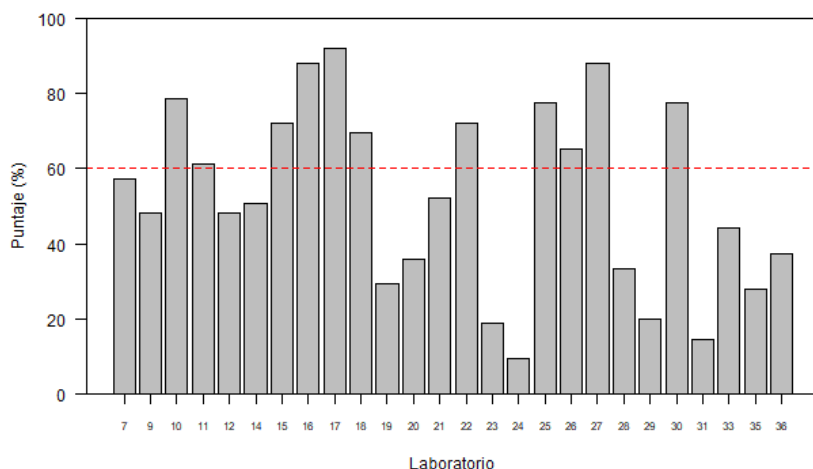


Figura 7.0.1. Puntaje de fiabilidad analítica obtenido por laboratorio.

30 % (como el 19, 23, 24, 29 y 31). La existencia de discrepancias analíticas relevantes entre laboratorios, pueden estar asociadas principalmente a errores sistemáticos graves, diferencias en la implementación metodológica, ausencia de control de calidad y falta de validación de resultados. En algunos casos, estas desviaciones podrían afectar significativamente la interpretación agronómica de los análisis. Lo anterior refuerza la importancia de las rondas interlaboratorio como herramientas fundamentales para evaluar la calidad analítica, identificar brechas técnicas y generar medidas correctivas orientadas al fortalecimiento y armonización de los procedimientos utilizados por los laboratorios participantes.

En términos generales, el ejercicio reveló que existen desafíos puntuales para casi todas las metodologías revisadas. En este sentido, existen puntos críticos que los laboratorios deben revisar. En primer lugar, se observaron casos (como en el pH en $CaCl_2$) donde la desviación no se debió a fallas del equipo, sino a la ejecución del protocolo analítico. Por otro lado, metodologías como la determinación de nitrógeno total por Dumas demostraron ser altamente robustas en concentraciones superiores (7 g/kg en el caso del nitrógeno), pero pierden pre-

cisión en niveles bajos, lo que requiere mayor cuidado en la calibración. Por último, determinaciones como el hierro disponible mostraron una reproducibilidad insatisfactoria incluso en suelos con altas concentraciones, con coeficientes de variación de hasta el 50 %. En particular:

- Las evaluaciones de pH, aunque de implementación aparentemente fácil, demandan el uso de muestras testigo en rangos de pH similares a las muestras en evaluación. Como análisis de rutina, en este sentido, sorprende que 18 de los 27 laboratorios participantes o no hayan reportado resultados o hayan informado valores fuera de rango para alguna de las muestras o metodologías.
- La conductividad eléctrica puede ser evaluada con rigurosidad sólo en el 62 % de los laboratorios participantes. Los restantes laboratorios no informan, informan equivocadamente los resultados de evaluación o presentan problemas metodológicos que producen resultados atípicos.
- Ha aumentado el número de laboratorios que permiten determinar carbono orgánico por análisis elemental. Si bien esto es positivo, los resultados del ejercicio enfatizan la falta de estandarización de las metodologías, observándose altas variaciones en resultados obtenidos con equipos que se destacan por su alta precisión. La evaluación por Walkley y Black, si bien presenta un menor nivel de resolución analítica, muestra resultados consistentes entre laboratorios, sobre todo en suelos con altos contenidos de carbono orgánico.
- Ha aumentado el número de laboratorios que reportan nitrógeno por el método Dumas. Esto es un gran avance hacia la confiabilidad de los resultados de los servicios de análisis. Sorprende la baja confiabilidad de las evaluaciones de nitrógeno disponible, incluso en suelos con alta disponibilidad. En términos generales, menos de un 40 % de los laboratorios de servicio están en condiciones de responder satisfactoriamente a solicitudes de determinación de nitrógeno Kjeldahl, Dumas o disponible, sin embargo, estos parámetros se encuentran disponibles en la mayoría de los servicios ofrecidos.

- El método colorimétrico de fósforo es uno de los con mayor demanda cubierta. En esta oportunidad, se observó una variabilidad importante, a pesar de que las muestras contenían suficiente fósforo para la determinación. Sugerimos revisar esta metodología en futuras capacitaciones, entendiendo que ha sido un criterio clave en la implementación de políticas públicas como SIRSD y en un futuro lo será para el SIGESS (Sistema de Incentivos para la Gestión Sostenible de Suelos Agropecuarios.).
- Los cationes están relativamente bien cubiertos y analizados, aunque algunos laboratorios tienen problemas ocasionales en algunos de ellos. Salvo el aluminio, las determinaciones son robustas y confiables. En cuanto a la determinación de aluminio consideramos urgente revisar las metodologías actuales, sobre todo entendiendo la importancia que tiene en la fertilidad de los suelos del sur de Chile.
- Los micronutrientes, aparte del boro, demuestran gran variabilidad. Esto ha sido sostenido en el tiempo, habiendo sido observado en la ronda anterior. Ya que esta metodología de determinación es del año 1990, se recomienda realizar una revisión del método y una adecuada capacitación de los laboratorios de la red.

Considerando todos los aspectos y antecedentes presentados en este informe, se hace necesario avanzar hacia instancias de capacitación orientadas a metodologías altamente demandadas y robustas, cuyos resultados presentan variabilidad que, en algunos casos, sobrepasan los niveles esperados. Si bien la evaluación objetiva realizada en este informe, basada en la norma ISO 13528 y el cálculo de z -score, permite evaluar comparativamente el desempeño de los laboratorios, se observan analitos cuya variabilidad puede resultar estadísticamente aceptable, pero técnicamente permisiva desde una perspectiva agronómica o de interpretación de resultados.

En este contexto se vuelve prioridad para nuestra red discutir y avanzar hacia el establecimiento de criterios técnicos nacionales de aceptabilidad analítica, para cada analito evaluado, que permita considerar aspectos asociados a la naturaleza del analito, su rango de concentración esperado, incluyendo conside-

raciones relativas a límites de detección y cuantificación, así como la complejidad metodológica involucrada. De esta manera, se podrá complementar los enfoques estadísticos robustos presentados en este informe, fortaleciendo la interpretación de resultados y generando mayor conciencia sobre el impacto que la calidad analítica puede tener en la toma de decisiones agronómicas, ambientales y en la gestión sostenible de suelos.

Asimismo, se sugiere que el establecimiento de criterios de aceptabilidad de la variabilidad considere principios asociados a la repetibilidad, reproducibilidad y precisión de ejercicios interlaboratorios descritos en ISO 5725, con el propósito de dar sustento técnico a los niveles de desempeño consensuados según cada metodología.

Este proceso debiese construirse de manera participativa, entre la academia, organismos públicos y privados, sustentado en evidencia técnica y la experiencia nacional acumulada de esta y otras redes de laboratorios de suelos, con el propósito de fortalecer progresivamente la armonización analítica y la confiabilidad de los resultados generados a nivel país.

Nuestra recomendación final para los laboratorios con puntajes bajos es de realizar una auditoría interna de sus procesos, verificar la calibración de sus instrumentos y utilizar planillas de control de calidad, construyendo muestras internas de referencia. Consideren también que siempre pueden acudir a nuestra red para guiarlos en el proceso de mejora y buscar canales de apoyo en el proceso.



Capítulo 8

Laboratorios Participantes

Agriservice
Agroanálisis UC
Agrolab Ltda
Centro de Investigación Sidal SpA
Cooprinsem
Irrifer Ltda.
Lab-Bio SpA
Laboratorio Agropecuario COLUN
Laboratorio Hidrolab SA.
Laboratorio Vitdo
Las Garzas
Merieux Nutrisciences Chile — Sucursal Rancagua
Quality Lab SpA
Servicios de Laboratorio B Araya Ltda
Servicios Terroir SpA
Laboratorio de Ciencia Animal y Recursos Naturales, INIA Tamel Aike
Laboratorio de Conservación y Dinámica de Suelos Volcánicos,
Universidad de la Frontera
Laboratorio de Química Analítica y Ambiental, Universidad Arturo Prat
Laboratorio de Nutrición y Suelos Forestales, Universidad Austral de
Chile
Laboratorio de Suelos, Universidad Austral de Chile
Laboratorio Agroenológico UCM, Universidad Católica del Maule
Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, Universidad de Chile
Laboratorio de Ensayos EULA, Universidad de Concepción
Laboratorio de Suelos y Planta, Universidad de La Frontera
Laboratorio Luis Morgan Villarroel, Universidad de La Serena
Centro Tecnológico de Suelos y Cultivos, Universidad de Talca
Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar, Pontificia Universidad Católica
de Valparaíso
Laboratorio de Suelos y Aguas, Universidad Tarapacá

Este boletín fue financiado por medio de la contribución de los laboratorios participantes.



Red Nacional
de Laboratorios
de Suelos de Chile
RENALASCH

REPORTE / N°002

RENALASCH

