



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DETERMINACIÓN DE pH,
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y NUTRIENTES EN EL SUELO EN
EXTRACTO VOLUMEN 1:2 Y EN EXTRACTO SATURADO BAJO
CONDICIONES DE FERTIRRIEGO EN VID DE MESA
(*Vitis vinifera L.*) CV. RED GLOBE**

Tesis para optar al Grado de Magister en Manejo de Suelos y Aguas

JUAN FRANCISCO PALMA MENDOZA

Directores de Tesis
JULIO HABERLAND ARELLANO
MARIA ADRIANA CARRASCO RIMASSA

Profesores Consejeros
OSCAR SEGUEL SEGUEL
ÍTALO CHIFFELLE GÓMEZ

SANTIAGO - CHILE
2014

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA DETERMINACIÓN DE pH, CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA Y NUTRIENTES EN EL SUELO EN EXTRACTO VOLUMEN 1:2 Y EN EXTRACTO SATURADO BAJO CONDICIONES DE FERTIRRIEGO EN VID DE MESA (*Vitis vinifera L.*) CV. RED GLOBE.

Tesis para optar al Grado de Magíster en Manejo de Suelos y Aguas.

JUAN FRANCISCO PALMA MENDOZA

	Calificaciones (Tesis de Grado)
DIRECTORES DE TESIS	
Julio Haberland Arellano Ingeniero Agrónomo, Ph.D.	Aprobado
María Adriana Carrasco Rimassa Química, M.Sc.	Aprobado
PROFESORES CONSEJEROS	
Oscar Seguel Seguel Ingeniero Agrónomo, Dr.	Aprobado
Ítalo Chiffelle Gómez Bioquímico, Dr.	Aprobado

Santiago, Chile
2014

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Hipótesis y Objetivos.....	7
Hipótesis.....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos específicos.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
Materiales.....	8
Materiales para preparación de las muestras de suelo para análisis de los extractos de suelo en una relación 1:2 (V/V) y extractos saturados.....	8
Métodos.....	9
Caracterización del suelo y agua del predio.....	9
Extracción de las muestras de suelo en terreno y su preparación.....	10
Análisis químico de elementos o compuestos solubles en los extractos de suelos.....	12
Distribución del contenido de agua en torno a un emisor y preparación de la muestra de suelo.....	13
Análisis estadístico.....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
Descripción de Suelos.....	15
Caracterización morfológica de los sitios de muestreo.....	15
Análisis foliar.....	15
Calidad del agua de riego.....	16
Salinidad - conductividad eléctrica – CE.....	16

Sodicidad	16
Toxicidad	17
Caracterización de la fertilidad del suelo	18
Fertilidad completa del suelo	18
Comparación de los métodos extracto de volumen 1:2 con el extracto saturado.....	20
Conductividad eléctrica	20
pH	25
Nitrato.....	29
Fosfato	33
Potasio	38
Calcio.....	44
Magnesio.....	48
Sodio.....	53
Cloruro.....	58
Comprobación de suma de cationes	63
Propiedades físicas e hídricas del suelo	63
Distribución del tamaño de partículas	63
Densidad aparente	64
Porcentaje de agua útil.....	66
Capacidad de drenaje.....	66
Contenido gravimétrico y volumétrico de agua en el suelo.	67
CONCLUSIONES	70
BIBLIOGRAFÍA	71
INDICE DE ANEXOS	78
ÍNDICE DE APÉNDICES	79

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Algunas propiedades químicas y niveles de fertilidad del suelo del perfil modal, Calicata N° 2, con plantas de vid de la variedad Red Globe.	18
Cuadro 2. Cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y sus relaciones en el suelo del perfil modal, Calicata N° 2, con plantas de vid de la variedad Red Globe.	19
Cuadro 3. Conductividad eléctrica (CE) promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.	21
Cuadro 4. El pH promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.	26
Cuadro 5. Nitrato promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.	30
Cuadro 6. Fosfato promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.	35
Cuadro 7. Potasio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.	40
Cuadro 8. Calcio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.	45
Cuadro 9. Magnesio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.	50
Cuadro 10. Sodio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.	55
Cuadro 11. Cloruro promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.	60
Cuadro 12. Distribución porcentual del tamaño de partículas para las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.	63
Cuadro 13. Clases texturales de las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.	64
Cuadro 14. Densidad aparente promedio y desviación estándar de las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.	64

Cuadro 15. Porcentaje de porosidad total o espacio poroso para las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas..... 65

Cuadro 16. Porcentaje de agua útil o humedad aprovechable para las estratas en cada perfil de las calicatas. 66

Cuadro 17. Capacidad porcentual de drenaje a capacidad de campo o macroporosidad para las estratas en cada perfil de las calicatas..... 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Extracción de la muestra de suelo para la determinación de densidad aparente mediante el método de cilindro de acero inoxidable.....	10
Figura 2. Diagrama de los sitios de muestreo en los cuales se consideró la extracción de nueve muestras por sitio.	11
Figura 3. Muestreo y grilla para la determinación del contenido de agua en el suelo.....	13
Figura 4. Relación entre las CE's medidas en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.	24
Figura 5. Relación entre los pH's medidos en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.	28
Figura 6. Relación entre nitratos medidos en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.	32
Figura 7. Relación entre el fosfato medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.	37
Figura 8. Relación entre el potasio medido en los extractos 1:2 y extractos saturados, en las cuatro calicatas y a tres profundidades.....	43
Figura 9. Relación entre el calcio medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.	47
Figura 10. Relación entre el magnesio medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.....	52
Figura 11. Relación entre el sodio medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.	57
Figura 12. Relación entre el cloruro medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.....	62
Figura 13. Distribución del contenido gravimétrico de agua (%) (Estufa a 105°C) en el perfil según horizontes genéticos de la calicata 2.....	68
Figura 14. Medición del contenido volumétrico de agua (% bv, cm ⁻³ de agua cm ⁻³ de suelo) mediante sonda de capacitancia tipo TDR en el perfil según horizontes genéticos de la calicata 2.....	69

RESUMEN

La disponibilidad de investigación sobre la comparación de métodos confiables, rápidos y prácticos de implementar para monitoreo de fertirriego en Chile es insuficiente. Actualmente la estimación de las concentraciones de iones en la solución suelo es obtenida a partir del método del extracto de saturación, el cual requiere de una preparación previa y cercanía a un laboratorio. Con el fin de conocer el comportamiento de un método alternativo de extracción, simple en preparación y filtración, para ser analizado con equipos portátiles, se realizó un estudio comparativo de las determinaciones de pH, CE, concentraciones de macronutrientes, sodio y cloruro mediante la extracción en una relación 1:2 (V/V) de suelo/agua (método holandés) y el método del extracto de saturación en un suelo franco arcilloso, con fertirriego aplicado a un parronal adulto cv Red Globe, Región Metropolitana de Chile. Desde cada sitio de muestreo, se extrajeron muestras de suelo, según horizontes genéticos, de nueve puntos tomados al azar. Las muestras fueron disgregadas, secadas al aire, tamizadas, homogenizadas y subdivididas en dos submuestras, la primera fue enviada a un laboratorio comercial para la caracterización de la fertilidad y del extracto de saturación y la segunda al Laboratorio de Química de la Facultad de Ciencias Agronómicas para las determinaciones en el método holandés con equipos de terreno.

De acuerdo a las evaluaciones, se aceptó la hipótesis solo para el potasio. Para el pH se rechazó la hipótesis; no fue posible comparar ambos métodos para cloruro debido a que el equipo portátil entregó concentraciones por rangos. Para el resto de los nutrientes se aceptó la hipótesis parcialmente en algunos horizontes.

Respecto a la correlación, ésta fue estadísticamente significativa (asociatividad positiva) entre ambos métodos en todas las determinaciones químicas, alcanzándose coeficientes de correlación altos (entre 0,896 y 0,824); razonable (0,735) y bajos (entre 0,478 y 0,400).

Complementariamente a la correlación de ambos métodos, fue importante contrastarlos en sus datos analíticos a través de la prueba de Chi cuadrado (validación de modelos) que demostró que la confiabilidad entre las discrepancias de ambos métodos fueron para CE; pH; fosfato y potasio, mayores del 70%, mientras que para el resto de los nutrientes se encontraron confiabilidades menores del 70%.

Palabras clave: fracciones solubles, método holandés, prueba de Chi cuadrado, solución de suelo, validación de modelos.

ABSTRACT

The availability of research comparing reliable, rapid and practical implementation methods for monitoring fertigation in Chile is insufficient. Currently estimation of the concentrations of ions in the soil solution is obtained from the method of saturation extract, which requires previous preparation and proximity to a laboratory. In order to know the behavior of an alternative method of extraction, simple in preparation and filtration, to be analyzed with portable equipments, it was carried out a comparative study of the determinations of pH, EC, concentration of macronutrients, sodium and chloride by extraction in a relationship 1:2 (V/V) of soil/water (Dutch method) and the method of the saturation extract in a clay loam soil, with fertigation and applied to an adult vineyard cv Red Globe, Metropolitan Region of Chile. From each sampling site chosen at random, soil samples according to their genetic horizons were taken from nine points. The samples were disrupted, air-dried, sieved, homogenized and divided into two subsamples, the first was sent to a commercial laboratory for fertility and saturation extract characterization, and the second one was sent to the Soil Chemistry Laboratory of Faculty of Agricultural Sciences for determinations in the Dutch method with field equipments.

According to the assessments, the hypothesis was accepted only for potassium and rejected for pH. It was not possible to compare both methods for chlorine due to the portable equipment measured concentrations by ranges. The hypothesis was partially accepted in some horizons for the rest of the nutrients.

Regarding the correlation between both methods, this was statistically significant for all chemical determinations (positive association), obtaining high correlation coefficients (between 0.896 and 0.824); reasonable (0.735) and low (between 0.478 and 0.400).

Complementary to the correlation of both methods, it was important to contrast their analytical data through Chi square test (model validation) which showed that the reliability between the discrepancies of both methods were greater than 70% for EC, pH, phosphate and potassium, while for the other nutrients reliabilities were under 70%.

Keywords: soluble fractions, Dutch method, Chi square test, soil solution, model validation.

INTRODUCCIÓN

Chile es uno de los mayores productores de fruta fresca del Hemisferio Sur, situándose como el mayor exportador de uva de mesa en el mundo, con 106.421.523 y 90.519.617 de cajas exportadas durante las temporadas 2012/2013 y 2013/2014, respectivamente (ASOEX CHILE, 2014). Esta realidad ha significado incorporar alta tecnología para garantizar una mayor producción y mejor calidad. La estrategia de incorporar mayores áreas con alta tecnología ha sido importante, ya que el total de superficie regada con riego tecnificado entre los años 1997 y 2007, creció de 93.411 a 303.970 hectáreas, mostrando un aumento del 228,1% en dicha década (Pereira, 2009). El riego tecnificado que incorpora aplicación de nutrientes (fertirriego), se incrementa cada día, ya que eleva la eficiencia de uso del agua y favorece la absorción de nutrientes.

La aplicación de un adecuado fertirriego requiere de estudios para cada Serie de suelo y debe ser monitoreado permanentemente en terreno, ya que la fertilidad del suelo es influida por la textura y estructura, el pH, el contenido y la composición de la materia orgánica, así como de la adsorción o capacidad de cambio de cationes (Finck, 1988). Además, en fertirriego es relevante conocer en forma rápida la fracción soluble de los elementos o compuestos en las distintas estratas del suelo. Sin embargo, el método oficial usado en Chile (Sadzawka *et al.*, 2006), para el análisis de salinidad o del extracto de suelo saturado en agua, en adelante extracto de saturación, no permite caracterizar en terreno los nutrientes en forma rápida y en zonas donde no es posible implementar laboratorios con adecuada infraestructura (Palma, 2003).

La movilidad de los diferentes elementos en el perfil del suelo no sigue un mismo patrón en profundidad. Por ejemplo, el potasio, calcio y magnesio se rigen por el mismo principio de interacción de cada uno de ellos con el tipo de arcilla dominante, la cual depende del tipo de material generador (Reitemeier, 1951; Buckman y Brady, 1977), pero la fuerza con que un catión es retenido en el complejo de cambio depende de su carga eléctrica y del radio iónico hidratado, según lo señalado por Fassbender y Bormemisza (1987), constituyéndose la doble capa difusa según Bohn *et al.* (2001).

Por otro lado, el sistema de riego también afecta la distribución de los nutrientes en el perfil de suelo y el crecimiento de las plantas. Ben-Gal y Dudley (2003) comprobaron que tres manejos diferentes de riego de alta frecuencia o continuos de bajo volumen, pueden mantener tres patrones de distribución de agua y nutrientes diferentes, mejorando las condiciones de crecimiento así como la absorción de agua y nutrientes en la aplicación continua de riego.

La distribución del agua y concentración de nutrientes en suelos bajo riego por goteo es necesario de determinar a fin de conocer un patrón de disponibilidad de estos en la rizósfera (Ben-Gal y Dudley, 2003; Kafkafi y Tarchitzky, 2011). Sin embargo, también hay una gran discrepancia entre considerar la concentración de nutrientes en la solución suelo por un lado, y el requerimiento mineral de las plantas por otro (Marschner, 2012). En consecuencia, Guardiola y García (1990) señalan que conocer el requerimiento mineral así como la cinética de la absorción de los elementos y compuestos, ha permitido el desarrollo

y evolución de soluciones nutritivas para las plantas en condiciones de una nutrición balanceada controlada vía fertirriego, precisamente porque existe una dinámica química entre la fase sólida y la solución del suelo (Cadaña y Lucena, 2005). Esta dinámica se debe a que la carga de un coloide predominante en un suelo está sometida a la presencia de cargas superficiales de tipo permanente (constantes) y variables positivas o negativas dependientes del pH, junto con reacciones o procesos químicos en superficie de los coloides y en la solución del suelo, como intercambio iónico, precipitación, solubilización, complejación, quelación, óxido-reducción e hidrólisis según Bohn *et al.* (1993).

Existen ciertas variables que caracterizan la situación de un suelo, como la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de iones como cloruros (Cl^-) y sodio (Na^+), los cuales son usadas comúnmente para caracterizar la salinidad de un suelo según Bohn *et al.* (1993) y Rhoades *et al.* (1999).

La caracterización de un suelo con respecto a su salinidad, según el USSL STAFF (1954), está basada en la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes); sin embargo, es común que los laboratorios de análisis de suelo informen CE diferentes, por ser determinadas en extractos con relaciones variables de suelo: agua (V/V), siendo las más comunes 1:1, 1:2, 1:5, 1:4 y 1:2,5. El utilizar diferentes relaciones conlleva a presentar dificultades para interpretar los resultados informados; las directrices clásicas de restricciones para el crecimiento de los cultivos según Ayers y Wescott (1985) están expresadas en base a CEes. Generalmente las correcciones de la CEe según la relación suelo:agua se realizan de acuerdo a las normas del USSL STAFF (1954), que indican multiplicar la $\text{CEe}_{1:1}$ y $\text{CEe}_{1:2}$ por 3 y 6, respectivamente. Esta estimación asume que el contenido de agua de saturación del suelo es de un 30%, lo que conduciría a errores en la estimación en suelos de diferente textura (Caviglia *et al.*, 1996). El uso de la relación 1:5 presenta, según Sonneveld y Van Den Ende (1971), algunas dificultades en la determinación del nivel de sales en suelos debido al contenido de fuentes de calcio, que al ser sometidas a un agente acidificante liberan la fracción de calcio soluble, incrementado su CE; por otra parte, el contenido de materia orgánica aumenta la capacidad de retención de agua del suelo, por lo que afecta la relación agua y sales en solución. En consecuencia Sonneveld y Van Den Ende (1971) sugirieron la utilización de la preparación de un extracto a partir de una suspensión obtenida por adicionar una parte de suelo a dos partes de agua, conocido como extractos en una relación fija de 1:2 (V/V) de suelo/agua (en adelante, extracto 1:2 o método holandés).

El estado nutricional del suelo se logra al determinar algunos compuestos y elementos tales como nitrógeno (N-NO_3^-), fosfato (según el pH del suelo como H_2PO_4^- a pH ácido y como HPO_4^{2-} a pH alcalino), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) (Sonneveld y Van Den Ende, 1971). Los mismos autores lograron obtener regresiones entre los resultados del extracto de saturación y del extracto volumen 1:2, para CE, cloruro, nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, con coeficientes de correlación lineal de Pearson (r) de 0,948; 0,976; 0,982; 0,943; 0,965 y 0,960, respectivamente. Cabe mencionar que estos datos provinieron de 75 muestras de suelo extraídas desde la estrata superficial, donde un tercio de las muestras correspondían a suelos de clase textural arenosa a arcillo arenosa, un tercio a suelos de clase textural arcillosa a franco arcillosa y el remanente a suelos de turba.

El estudio de la movilidad de los diferentes elementos en base al análisis del extracto de suelo 1:2 ha demostrado que existe un grupo de compuestos tales como nitratos, cloruros y sulfatos que se lixivian muy fácilmente debido a su solubilidad. Por el contrario, amonio, fósforo, potasio, calcio y magnesio no se lixivian porque pueden ser adsorbidos por el suelo, dependiendo del contenido y tipo de arcilla y la capacidad de intercambio del suelo (Ben-Gal y Dudley, 2003; Goto, 2007; Kwast, 2010).

Finck (1988) señala que los nutrientes se encuentran en los suelos retenidos en tres formas: soluble, en la solución del suelo; lábil (intercambiable) y como no lábil (de reserva), estas dos últimas en la fracción coloidal del suelo. En consecuencia, la dinámica ideal para los nutrientes es la que tiene un suelo con alta capacidad de almacenar nutrientes en forma lábil; protegiéndolos del lavado y manteniéndolos en forma fácilmente disponible, así compensa los excesos inmovilizándolos, pero sin fijarlos, y en el caso de sustracciones o pérdidas, los moviliza y suministra en cantidad suficiente. Lo anterior tiene importancia debido a que el sistema radical de la planta se desarrolla en la zona humedecida por el emisor, disponiendo de agua a baja tensión y de nutrientes en forma permanente durante la evolución del cultivo, lo cual trae grandes beneficios en términos de producción y calidad del producto, siempre y cuando otro factor no sea limitante (Cadahía y Lucena, 2005; Palma, 2005).

El monitoreo discreto de las sales se hace a través de la CE en el extracto de saturación de suelo, según Hanson *et al.* (2006), la cual entrega valores que muestran el comportamiento de las sales en el suelo. El extracto de suelo se puede obtener a través de instrumentos como lo son las sondas extractoras o cápsulas de cerámica (Palacios *et al.*, 1999; Cadahía, 2003; Cadahía y Lucena, 2005; Falivene, 2008) y lisímetros full stop (Stirzaker *et al.*, 1999; Stirzaker y Hutchinson, 2005; Stirzaker, 2008a; Stirzaker 2008b). También es posible el monitoreo continuo y discontinuo de la CE en el extracto de suelo a través de sondas de capacitancia tipo “frequency domain reflectometry” (FDR) y “time domain reflectometry” (TDR), que permiten determinar además, en forma simultánea, temperatura y estado energético del agua en el suelo (contenido volumétrico de agua) basado en la medición de la constante dieléctrica del suelo, agua y aire a través de la capacitancia y la imposición de un campo electromagnético dentro del suelo, debido a que esta última medición depende de la cantidad de agua del suelo y de las fuerzas que actúan sobre ella (Silva *et al.*, 2000; Vera, 2003; Zúñiga, 2004; Silva y Galleguillos, 2012).

El rendimiento y calidad de la fruta están directamente relacionados con el manejo del agua en el suelo a través de la optimización en el manejo de los sistemas de riego, según Sellés (2006; 2012) y Sellés *et al.* (2003; 2012a; 2012b), lo cual requiere integrar el manejo de propiedades físicas del suelo que permitan mejorar la capacidad de aire, siendo este uno de los factores limitantes que afectan la obtención de un producto comercial de exportación en uva de mesa. En este sentido, Baginsky *et al.* (2010) y Poblete (2011) demostraron en la zona norte de Chile la importancia de mejorar la conductividad hidráulica saturada del suelo, logrando una remediación de problemas de aireación y mayor funcionalidad del sistema poroso al introducir una rotación de cultivos y/o enmiendas orgánicas sobre la hilera de una plantación de uva de mesa, favoreciendo la conducción de agua y aire. En las mismas investigaciones se plantearon que estos cambios positivos en las propiedades físicas del suelo y en consecuencia en una mejora en la funcionalidad del suelo, no son

permanentes y de no contemplar un manejo integrado, pueden generar problemas como salinización del suelo y discontinuidad en el sistema poroso.

Uno de los factores que afectan al suelo es precisamente el agua de riego, la cual está sometida a diferentes procesos tales como retención, almacenamiento y conducción en el perfil del suelo. La localización del agua en el suelo tiene una implicancia directa en el desarrollo del sistema de raíces, ya que sabemos que el área de crecimiento de raíces se concentra en el volumen de suelo mojado por el sistema de riego, por tanto, existe una mayor densidad de raíces por superficie cuando se dispone de dos líneas de emisores en relación a una línea (Sellés, 2006). Sin embargo, que exista una mayor área mojada no implica necesariamente que exista una mejor condición para el crecimiento de las raíces, ya que en situaciones de riego de alta frecuencia, una relación inadecuada entre el agua y el aire en el suelo limitan la producción y calidad de la fruta, de manera que el suelo debería tener la humedad adecuada, sin excesos, para no disminuir la difusión de oxígeno en el suelo y así evitar un efecto negativo en la respiración de las raíces (Selles *et al.*, 2012b).

La caracterización biológica, física y química del agua de riego es fundamental para conocer el comportamiento de ésta al ser aplicada en un sistema tecnificado como es el riego por goteo (Palma, 2003; 2005). Varios autores han señalado diversos criterios para la clasificación de las aguas de riego considerando los efectos antes mencionados cuando se aplica un agua con ciertas características, de manera de poder, a través de su análisis químico, clasificar la calidad del agua de riego según salinidad, sodicidad y toxicidad y también determinar su efecto sobre las plantas (USSL STAFF, 1954; Ortiz, 1997; Tejeda *et al.*, 2001; Cadahía, 2003; Cadahía y Lucena, 2005; Hanson *et al.*, 2006). Desde el punto de vista químico, los autores Bohn *et al.* (1993) y Ortiz (1997) señalan que la composición química del agua permite diagnosticar los principales efectos que las aguas de riego pueden producir en las propiedades de los suelos y en el posterior desarrollo de los cultivos, tales efectos se resumen en: 1) salinidad debido a la acumulación progresiva de sales en el suelo, provenientes del agua de riego; 2) sodicidad debido a la presencia en el agua de una cantidad de sodio considerable en relación a calcio y magnesio, produciendo sodicidad y baja permeabilidad en el suelo al inducir su dispersión; y 3) toxicidad que se produce cuando las plantas absorben cantidades importantes de iones no deseables provenientes del agua, que causa un bajo desarrollo (baja producción) o incluso la muerte de plantas. Por ello, es importante monitorear en agua y extractos de suelos, los iones específicos como boro, cloruro, sodio, calcio, magnesio y bicarbonatos.

En esta tesis se propone comparar muestras extraídas de un suelo sometido a una intensiva producción de uva de mesa fresca bajo riego por goteo, al determinar químicamente pH, conductividad eléctrica y nutrientes en el suelo bajo dos métodos de análisis, el extracto de suelo en una relación 1:2 volumen/volumen de fracción sólida de suelo/agua (método holandés) y el extracto de saturación de suelo (método estándar). El método holandés tiene la ventaja de entregar valores en tiempo real más breve y se puede implementar en cualquier sitio alejado de centros de laboratorios, debido a que el manejo de los extractos es más simple en cuanto a preparación y filtración, junto con la posibilidad de efectuar mediciones con equipos portátiles de terreno (previamente calibrados).

Hipótesis y Objetivos

La disponibilidad de información e investigación sobre la comparación de métodos disponibles y confiables para monitorear sistemas de riego tecnificado en Chile es insuficiente y por ello, en esta investigación se ha planteado la hipótesis con los objetivos siguientes:

Hipótesis

- El método holandés, el cual usa el extracto de suelo en una relación 1:2 volumen/volumen de fracción sólida de suelo/agua, entrega valores comparables con los del extracto de saturación del suelo.

Objetivo General

- Realizar un estudio comparativo de las variables químicas de pH, CE y nutrientes medidos mediante la extracción en una relación fija de 1:2 (V/V) de fracción sólida de suelo/agua y el método del extracto de saturación.

Objetivos específicos

- Comparar pH, CE y las concentraciones de los nutrientes solubles medidos con equipos de terreno en el extracto de suelo en una relación fija de 1:2 (V/V) de fracción sólida de suelo/agua y en el laboratorio en el extracto de saturación.
- Establecer posibles correlaciones entre pH, CE y los nutrientes medidos en extracto en una relación fija de 1:2 (V/V) de fracción sólida de suelo/agua y en extracto de saturación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La investigación se desarrolló en la temporada 2012/2013 en un huerto comercial de uva de mesa de la variedad Red Globe, cuartel 6, plantada durante 1998, de Agrícola Los Acacios Ltda, localidad de Viluco, coordenada UTM Este 330850; Norte 6257081 (Huso 19s, Datum WGS84). El huerto está ubicado en la Región Metropolitana, Localidad de Maipo, Comuna de Buin; se le identifica con el Rol 390 – 057 del Servicio de Impuestos Internos, para esta Comuna.

La caracterización química de la fertilidad y del extracto de saturación del suelo se efectuó en un laboratorio comercial (Agrolab) y el análisis de pH, CE y nutrientes (nitrógeno, fosfato, potasio, calcio, magnesio, cloruros y sodio) en los extractos en una relación fija de 1:2 (V/V) de suelo/agua se realizó con equipos de terreno en el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas del Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

La caracterización física del suelo se efectuó en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Ingeniería y Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

La caracterización del agua de riego se hizo en una muestra tomada en el mes de enero de 2013, durante el periodo de aplicación de nutrientes (fertirriego), coincidiendo con la fecha del muestreo de suelos. Los análisis se hicieron en el laboratorio comercial Agrolab.

El análisis foliar proporcionado por el agricultor, fue realizado durante floración, en un laboratorio comercial, tres meses antes de haber montado esta investigación y consideró la temporada de producción 2012/2013.

Materiales para preparación de las muestras de suelo para análisis de los extractos de suelo en una relación 1:2 (V/V) y extractos saturados.

Para la preparación de las muestras de suelo se utilizó: martillo de madera, mortero y pistilo de ágata, bandejas de aluminio de 2 kg de capacidad, estufa con circulación de aire, regulada a una temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, tamiz de acero inoxidable con aberturas de 2 mm y bolsas plásticas. Para la preparación de los extractos en relación 1:2 (V/V) se usó agua destilada, vasos de vidrio de 1000 mL, matraces Erlenmeyer de 1000 mL, agitadores de varilla de vidrio, filtros de pirinola modelo Millex – HV Durapore (PVDF) hidrófilo no estéril, de 33 mm de diámetro y porosidad $0,45 \mu\text{m}$, frascos de plástico con tapa, de 100 mL, para almacenamiento del extracto final, y frascos plásticos herméticos de 1000 mL para guardar el remanente de suelo.

Para la preparación de los extractos de suelo saturado en agua (extractos saturados) se utilizó: recipientes plásticos con tapa para preparar las pastas saturadas, agua destilada,

espátulas, embudos Büchner, matraces kitasato, bomba de vacío y tubos de vidrio *pyrex* con tapa plástica para almacenar los extractos de las pastas.

Instrumentos portátiles de medición. Equipo marca Hanna Instruments, modelo HI 991301, termocompensado (HANNA INSTRUMENTS, 2010a y 2010b), con corrección automática de temperatura, para medir el pH y la CE simultáneamente.

Medidor Cardy, marca Horiba modelos C-131 y C- 122 (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2011a y 2011b) para las determinaciones de potasio (K^+) y sodio (Na^+) solubles, respectivamente.

Equipo de reflectometría portátil marca Merck Reflectoquant RQ-Flex Plus de varillas (MERCK, 2010) para las determinaciones de nitrato (NO_3^-), fósforo (como $H_2PO_4^-$ o HPO_4^{2-} según el pH del suelo), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) solubles.

Colorímetro marca Merck MColortestTM, (MERCK, 2010) para las determinaciones de cloruros (Cl^-) solubles.

Métodos

Caracterización del suelo y agua del predio

Descripción del suelo. Se hizo de acuerdo a las pautas de índice de evaluación de suelos (Valdés, 1977; CIREN CHILE, 1996). Las muestras de suelos se tomaron según su estratificación de acuerdo a los horizontes genéticos del suelo.

Caracterización química del suelo. El pH, CE y nutrientes solubles en el extracto de saturación, se midieron según metodología recomendada por Sadzawka *et al.* (2006), en un laboratorio privado (Agrolab S.A.). Lo mismo se hizo con el análisis de fertilidad del perfil modal o Calicata 2. El análisis de los extractos en una relación fija de 1:2 (V/V) de suelo/agua (método holandés de Sonneveld y Van Den Ende, 1971) se realizó con equipos de terreno en el laboratorio, descrito en la sección materiales.

Caracterización física del suelo. La densidad aparente se determinó por el método del cilindro (Grossman y Reinsch, 2002), la textura del suelo se determinó por el método de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962) y la retención de agua por el método del plato y olla a presión (Dane y Hopmans, 2002).

Para la determinación de densidad aparente, las muestras de suelo se extrajeron en forma separada en cada punto, mediante un cilindro de acero inoxidable con un diámetro conocido de 5,9 cm y altura de 5 cm, para no alterar la muestra de suelo (Figura 1).

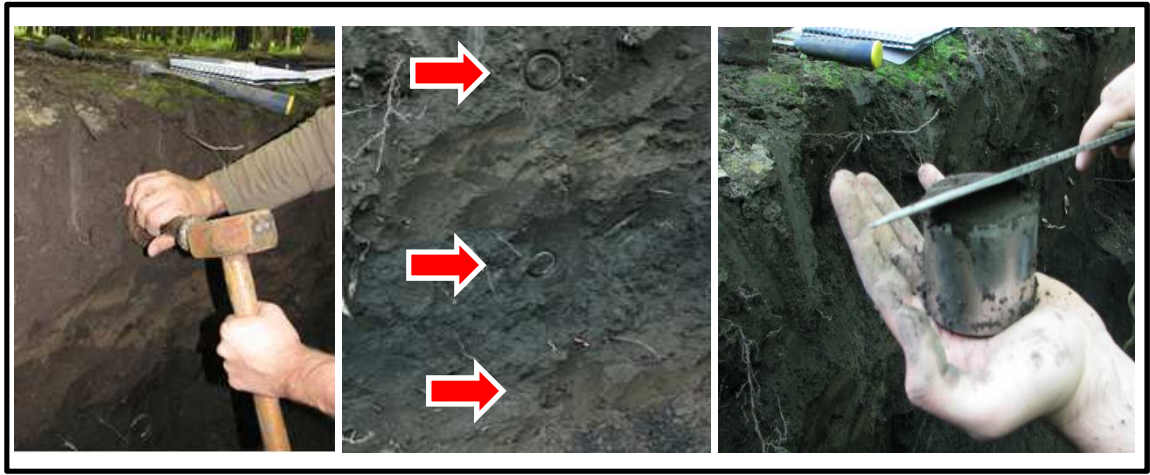


Figura 1. Extracción de la muestra de suelo para la determinación de densidad aparente mediante el método de cilindro de acero inoxidable.

Caracterización química del agua de riego. Una muestra de 2 L de agua extraída en el cabezal del sistema de fertirriego del predio se almacenó en un recipiente con tapa, previamente ambientado con el agua de riego. Los análisis químicos se hicieron acuerdo a la metodología propuesta por Sadzawka *et al.* (2006).

Extracción de las muestras de suelo en terreno y su preparación

Extracción. Las muestras fueron extraídas, según la metodología descrita por Seguel y Benavides (2011). En el cuartel del estudio se identificaron cuatro sitios de muestreo georeferenciados, con una misma unidad de riego por goteo, y plantas francas adultas. El marco de plantación era de 2 x 3 m con una línea de riego con emisores cada un metro.

En cada sitio de muestreo, se seleccionó al azar una planta, identificando al gotero más cercano a esta, en un espacio lineal de 3 m sobre la línea del gotero, donde se definieron tres puntos: uno bajo el gotero central y los otros dos a 1,5 m a cada lado del gotero central, correspondiendo a la zona entre goteros (Figura 2). En estos puntos se hizo un muestreo a tres profundidades de acuerdo a los horizontes genéticos. Por tanto, se obtuvieron nueve muestras de suelo por sitio de muestreo y un total de 36 muestras en el cuartel. Cada muestra de suelo fue de 7 kg, considerando 5 kg para los análisis químicos y 2 kg para los análisis físicos, las cuales se almacenaron en bolsas plásticas. Se asume que el suelo es homogéneo a través de un metro y medio para cada lado del gotero central. En consecuencia la unidad experimental corresponde a la medición o punto de muestreo bajo el gotero en cada estrata u horizonte genético y cada uno de estos tiene 3 repeticiones.

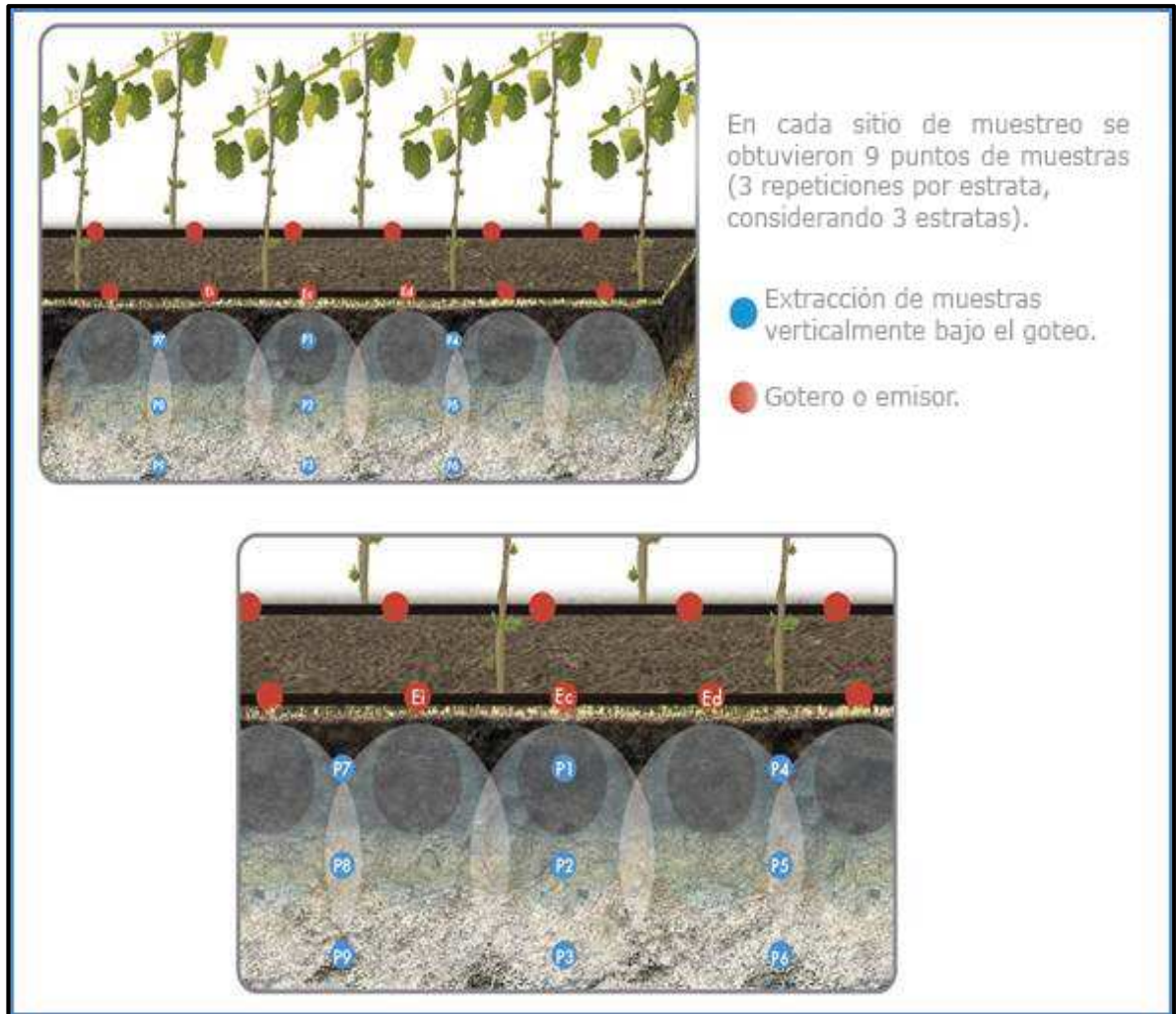


Figura 2. Diagrama de los sitios de muestreo en los cuales se consideró la extracción de nueve muestras por sitio.

Preparación de las muestras de suelo. Los 5 kg de suelo obtenidos en terreno por cada punto de muestreo, se homogenizaron bien, disgregando los terrones manualmente mediante un martillo de madera o un tapón de goma; se eliminaron las piedras y residuos de mayor tamaño (raíces gruesas, restos de ramas y hojas). El suelo disgregado se esparció sobre bandejas de aluminio previamente identificadas, el espesor de la capa de suelo no fue superior de 15 mm. El suelo en las bandejas se secó al aire en un ambiente ventilado de acuerdo a pruebas preliminares de secado de muestras (Apéndice I), hasta que la pérdida de masa no fuera mayor del 5% en 24 horas; luego el suelo se tamizó a través de un tamiz de acero inoxidable de malla de 2 mm, los terrones que no pasaban el tamiz se disgregaron en un mortero y se tamizaron nuevamente; toda la fracción < 2 mm proveniente de los 5 kg de muestra de suelo se almacenó en una bolsa plástica, donde se mezcló repetidamente para su homogenización. La muestra homogenizada se dividió en dos submuestras, una de 2 kg para análisis químico del extracto de saturación de acuerdo a las indicaciones del USDA citado por Sadzawka (1990) y Sadzawka *et al.* (2006), y otra de 2 kg para los extractos en una relación fija de 1:2 (V/V) de suelo/agua (Método holandés) según Sonneveld y Van Den Ende (1971), Sonneveld *et al.* (1990) y Van de Bos *et al.* (1999).

Análisis químico de elementos o compuestos solubles en los extractos de suelos

Los extractos acuosos de suelos se hicieron en un matraz Erlenmeyer, cuya escala de volumen fue previamente controlada, en una relación fija de 1:2 (V/V) de fracción sólida de suelo/agua (método holandés). La mezcla fue agitada manualmente con una varilla de vidrio por dos minutos y se filtró con un filtro de pirinola especial Merck modelo Millex – HV Durapore (PVDF) hidrófilo no estéril, de 33 mm de diámetro y 0,45 μm de porosidad. El tiempo mínimo de decantación antes de su filtración fue de 4 horas. Una vez obtenido el filtrado se realizaron las determinaciones químicas que a continuación se detallan.

El pH y la CE fueron determinados bajo la metodología descrita por el fabricante del instrumento (HANNA INSTRUMENTS, 2010a y 2010b).

Las determinaciones de potasio y sodio solubles en los extractos se realizaron mediante uso de electrodos específicos compactos en un medidor Cardy. Para las determinaciones de potasio y sodio fue necesario previamente calibrar entre 150 mg L^{-1} y 2000 mg L^{-1} de ambos elementos con soluciones de calibración que el fabricante proporcionó al momento de la compra de ambos equipos. Por otro lado, para la validación y comprobación de las mediciones realizadas con los instrumentos, se prepararon soluciones estándares de 100, 200, 500 y 1000 mg L^{-1} a partir de soluciones concentradas, las cuales permitieron comprobar las lecturas de ambos equipos (SPECTRUM TECHNOLOGIES, 2011a y 2011b).

Las determinaciones de nitrato, fósforo, calcio, magnesio solubles en los extractos se realizaron por reflectometría con un equipo portátil marca Merck Reflectoquant RQ-Flex Plus de varillas, teniéndose que contar con un set de varillas estándares de la empresa Merck para la determinación de cada elemento, según los rangos de concentración siguientes, expresados en mg L^{-1} (MERCK, 2010).

- Nitrógeno (NO_3^-), entre 5 y 225 mg L^{-1} .
- Fosfato (PO_4^{3-}), entre 5 y 120 mg L^{-1} .
- Calcio (Ca^{2+}), entre 5 a 125 mg L^{-1} .
- Magnesio (Mg^{2+}), entre 5 y 100 mg L^{-1} .

Para la determinación de estos cuatro compuestos y/o elementos químicos (nitrógeno, fósforo, Ca^{2+} y Mg^{2+}), fue necesario previamente calibrar y seleccionar los canales de medición para cada uno de ellos, para lo cual se dispuso de tiras de calibración en un rango proporcionado por el fabricante (MERCK, 2010). Por otro lado, se prepararon soluciones estándares para cada elemento, comprobándose el correcto funcionamiento y lectura del equipo.

Las determinaciones de cloruros (Cl^-) solubles fueron realizadas en colorímetro marca Merck MColorTestTM, el cual mide en un rango de 3 a 300 mg L^{-1} según el método descrito por el fabricante (MERCK, 2010).

Distribución del contenido de agua en torno a un emisor y preparación de la muestra de suelo

Para la caracterización del contenido gravimétrico y volumétrico de agua *in situ* se realizó un muestreo en puntos de extracción dispuestos de manera que al combinarlos generaran una grilla bidimensional con cuadrículas de 10 x 25 cm (Figura 3).

Para la determinación del contenido gravimétrico de agua se utilizó el método de pérdida de masa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante (Sadzawka *et al.*, 2006), extrayendo una muestra y contramuestra, aproximadamente de 12 g, en cada punto de la grilla.

Para la determinación del contenido volumétrico de agua se utilizó una sonda de capacitancia tipo TDR modelo SD-12 de la empresa norteamericana Stevens Co.



Figura 3. Muestreo y grilla para la determinación del contenido de agua en el suelo.

Análisis estadístico

Para comparar los resultados entre los dos métodos de análisis químicos, previamente fue necesario procesar un modelo de tres vías con el programa SAS 9.3TS "label" 1M2, considerando las variables método, calicata y profundidad. Este análisis concluyó que existen diferencias estadísticamente significativas entre calicatas. En consecuencia, debido a que cada calicata se considera una situación en que existen factores no controlables y aleatorios, se efectuó un análisis de dos vías en cada calicata, analizando el efecto de cada método evaluado y la profundidad. Los gráficos y regresiones de las determinaciones físico químicas del suelo se realizaron con el programa Microsoft® Office Excel 2010 (Microsoft Corporation, Estados Unidos de Norteamérica).

Los datos en cada sitio de muestreo se analizaron mediante el promedio de las tres repeticiones por estrata y su desviación estándar. El análisis de varianza para cada calicata se realizó con un nivel de significancia del 5%. En el caso de diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey al 5% para establecer entre cuáles profundidades existían diferencias.

Con el propósito de establecer posibles correlaciones lineales simples entre las diferentes variables medidas por ambos métodos (CE; pH; nitrato, fosfato, potasio, calcio, magnesio, sodio y cloruro), se hizo la prueba de hipótesis nula para $\rho = 0$, siendo ρ el coeficiente de correlación muestral estimado a partir de "r", el cual corresponde al coeficiente de correlación lineal de Pearson; éste permitió rechazar o aceptar la hipótesis de que existía correlación estadística entre los métodos (Steel y Torrie, 1980; Mendenhall *et al.*, 2009).

Dado que Harrison (1990, citado por Barrales *et al.*, 2004) y Mitchell (1997, citado por Barrales *et al.*, 2004) han objetado a la regresión como técnica de validación empírica de modelos, se utilizó la metodología propuesta por Barrales *et al.* (2004) quienes señalaron que a partir de las dósimas de exactitud presentadas por Freese (1960, citado por Barrales *et al.*, 2004) y modificaciones realizadas posteriormente por Rennie y Wiant (1978, citado por Barrales *et al.*, 2004) se efectuó la prueba de Chi cuadrado (Ecuación 1) para la validación de un modelo. Esto permitió contrastar los dos métodos de medición en sus variables respectivas (pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, cloruro y sodio solubles), definiendo como confiabilidad válida (100-Discrepancia), para comparar métodos, valores a partir de 70% o más.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_i)^2 - nB^2}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - nB^2}{\sigma^2} = \frac{Z^2_{(1-\alpha/2)}}{E^2} \left(\sum_{i=1}^n d_i^2 - nB^2 \right) \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- x_i : Valor de la variable i en extracto volumen 1:2.
- μ_i : Valor de la variable i según extracto de saturación.
- n: Número de muestras.
- B: Sesgo de la constante.
- σ^2 : Varianza de los datos.
- E: Discrepancia aceptada.
- Z: Percentil de distribución normal estándar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción de Suelos

Caracterización morfológica de los sitios de muestreo

Debido a que los cuatro sitios de muestreo en su descripción morfológica mostraron homogeneidad, se definió un perfil modal, el cual correspondió a la descripción de la Calicata 2 del cuartel N° 6 presentada en el Apéndice II, y cuya georreferenciación es coordinada UTM Este 330850; Norte 6257081. Huso 19s. Datum WGS84. El potrero en estudio tenía una superficie total de 33 ha.

La Calicata 2 corresponde a un suelo de clase II de Capacidad de Uso con moderadas características físicas y morfológicas presentando leves problemas de drenaje, apto para cultivos y fruticultura en particular (Valdés, 1977; Casanova 2010). La presencia de raíces en los primeros 70 cm es muy abundante y su cantidad disminuye en profundidad. Todas las raíces se presentan activas y sanas (no hay necrosis). Este suelo es una variante franco arcillosa de la Serie Hospital (Anexo I).

Análisis foliar

Christensen *et al.* (1978); Cook y Wheeler (1983) y Valdés (1998), señalan que para evaluar el estado nutricional de la vid (*Vitis vinifera L.*), solo es necesario el análisis de pecíolo en plena flor; sin embargo “Pino *et al.* (2012)” sostiene que, tradicionalmente se ha empleado el análisis de pecíolo durante la floración y el de lámina en floración en pinta o envero (Anexo II).

A pesar que diversos autores han señalado en que ambos tejidos han presentado inconsistencias entre potencial productivo y niveles nutricionales (Ruiz, 2000, citado por Pino *et al.*, 2012 y Rombolá y Sorrenti, 2006, citado por Pino *et al.*, 2012), estos mismos autores en un ensayo de plantas autoenraizadas del cv Red Globe, de un año de edad, en macetas de 20 L, en sustrato de arena gruesa, llegaron a la conclusión que para el nitrógeno el extracto peciolar es más sensible que el análisis de lámina, incluso comparándolos con otros tejidos como raíz. En el mismo estudio, el análisis de extracto peciolar presentó una elevada sensibilidad para detectar antagonismos entre elementos, cuando las dosis de fertilización son altas, y por último la concentración peciolar en el extracto peciolar presenta una fuerte asociación con la concentración en la lámina para amonio y fosfato, y con la concentración en raíz para fosfato y potasio. Por lo tanto, el estado nutricional de nitrógeno en la vid es más adecuado al ser determinado a partir del extracto peciolar. Por otro lado, en un estudio sobre la evolución nutricional en vides a partir de literatura publicada, se señaló que Christensen (1984, citado por Callejas *et al.*, 2012) encontró que existían diferencias varietales sobre la concentración de K, siendo éstas mayores en análisis de pecíolos que en láminas.

Para conocer el estado nutricional foliar de la uva de mesa variedad Red Globe, se tomó una muestra del pecíolo de la hoja del tercio medio del cargador y opuesta al racimo, en

plena flor según Christensen *et al.* (1978); Cook y Wheeler (1983) y Valdés (1998) en un número de 100 pecíolos por muestra durante noviembre de 2012, la que fue analizada según las técnicas internacionales de análisis foliar. Los estándares bajo los cuales se rige la interpretación de la muestra foliar del pecíolo tomada durante floración se aprecia en el Anexo II, encontrándose en el cuartel donde se llevó a cabo la investigación según Valdés (1998) y Palma (2003; 2005 y 2006) niveles altos en N; P; Mg y Zn y niveles adecuados en K y Ca. Sólo el Mn presentó un nivel deficiente (Apéndice III).

En cuanto a los estándares presentados para la producción comercial de uva de mesa fresca, se ha tenido algún grado de validación vía experimentación en terreno y observaciones en Chile por varios años, según Valdés (1998); Ruiz y Sadzawka (2005) y Razeto (2011) determinándose una correspondencia de la analítica con el significado nutricional, relacionando la producción con el vigor del parronal.

Calidad del agua de riego

Los principales efectos que el agua de riego puede producir en las propiedades de los suelos y en consecuencia en el desarrollo de un cultivo, se resumen en problemas causados por salinidad, sodicidad y toxicidad, según diversos autores (USSL STAFF, 1954; Ortiz, 1997; Hanson *et al.*, 2006).

Salinidad - conductividad eléctrica – CE

Según el grado de salinidad o CE del agua de riego (Apéndice IV), el suelo se puede volver salino. Normalmente la CE medida en el extracto de saturación, es de 2 a 10 veces mayor que la del agua con la que ha sido regado. El agua de riego del huerto donde fue realizada esta investigación tenía una CE de $1,6 \text{ dS m}^{-1}$, la cual según el método de clasificación de aguas de riego propuesto por el USDA (USSL STAFF, 1954; Ortiz, 1997; Cadahía y Lucena, 2005) se clasifica en Clase 3 de salinidad alta (Anexo III). Según la norma chilena (Tejeda *et al.*, 2001) corresponde a un agua con efectos adversos en muchos cultivos y que necesita métodos de manejo cuidadosos.

Por otro lado, es necesario conocer otros aspectos del agua de riego utilizada en esta investigación a partir de la salinidad, donde Ortiz (1997) plantea como importantes otras propiedades químicas, tales como salinidad efectiva (SE) y salinidad potencial (SP), cuyos valores determinaron que se trataba de un agua de calidad condicionada con SE igual a 6,3 (Clase 3, mala calidad) y SP igual a 8,9 (Clase 2, agua condicionada), respectivamente (Apéndice V).

Por otro lado, Hanson *et al.* (2006) y Razeto (2011) señalan la necesidad de conocer la salinidad en términos del total de sólidos disueltos (TSD), potencial osmótico (PO) y potencial de sales en el agua (PSA), cuyos valores fueron $1,024 \text{ mg L}^{-1}$; $-0,0576 \text{ MPa}$ y $102,4\%$, respectivamente (Apéndice V).

Sodicidad

Este problema se atribuye al efecto que puede tener el sodio en la dispersión del suelo, dependiendo de una relación empírica que existe entre la concentración de sodio con

respecto a las concentraciones de calcio y magnesio en el agua de riego. Tal relación, conocida como RAS (razón de adsorción de sodio), está dada por la fórmula mostrada en el Anexo IV, y permite estimar el riesgo de sodificación por el agua de riego, mediante la clasificación de aguas del USDA o clasificación Riverside (Anexo V) ampliamente usada en el mundo (USSL STAFF, 1954; Ortiz, 1996 y Cadahía y Lucena, 2005). El agua de riego tuvo una RAS_r igual a 1,33 (Apéndice VI), lo que junto a su CE determinó una clasificación C3S1, vale decir, es un agua baja en sodio, con poco riesgo de que el suelo eleve su porcentaje de sodio intercambiable; sin embargo es de salinidad alta.

Por otro lado, Ortiz (1997), Cadahía y Lucena (2005) y Hanson *et al.* (2006) señalan la necesidad de conocer complementariamente otras variables químicas, tales como RAS corregido (RAS_c), que resultó igual a 1,8 mmol L⁻¹, RAS ajustado (RAS_{aj}), igual a 3,3 mmol L⁻¹ (RAS_{aj}); índice de saturación (IS), igual a 1,5 (esto indica que puede ocurrir precipitación de CaCO₃) y carbonato sódico residual (CSR), que en este caso no presentó (agua recomendable). Además se evaluó una dureza de 640 mg CaCO₃ L⁻¹; índice de Scott igual a 11,08 (tolerable) y porcentaje de sodio posible (PSP) igual a 32 (Clase II, agua condicionada) (Apéndice VI, Anexo IV).

Tasa de infiltración (TI): debido a que el volumen de agua aplicado en un riego sobrepasa con mucho al de la solución original del suelo, es necesario conocer el efecto de ésta sobre la tasa de infiltración en el suelo, la cual está afectada por la salinidad (CE) y la RAS_r del agua de riego; así tenemos que aguas con baja carga de iones justamente por esta condición, no pueden infiltrarse en el suelo según Ayers y Westcot (1985, citado por Hanson *et al.* 2006). La figura del Anexo VI permitió predecir el comportamiento en la tasa de infiltración del agua en el suelo a partir de la CE = 1,6 dS m⁻¹ y la RAS_r = 1,33 que tiene el agua de riego del huerto utilizado en esta investigación, determinándose que no causa reducción en la infiltración, coincidiendo esto por lo planteado por Sierra y Calcagni (1999), en que un agua con RAS_r menor a 5 no tiene problemas de infiltración. Por otro lado, el valor de RAS ajustado (RAS_{aj}) igual a 3,3 ratifica que es un agua de riego sin problemas de permeabilidad en el suelo (Anexo VII).

Toxicidad

Según Ayers (1983) existen iones que si son absorbidos por las plantas en exceso producen problemas de toxicidad; tratándose de elementos como el sodio, el cloruro y el boro, especialmente este último en la uva de mesa, la cual presenta un rango de máxima concentración tolerable entre 0,5 a 0,75 mg L⁻¹ de boro en el extracto del suelo sin afectar el rendimiento (Grattan, 2006 citado por Hanson *et al.*, 2006). Además, la uva de mesa es sensible en relación a la concentración de boro en el agua de riego, ya que tolera un rango entre 0,3 y 1 mg L⁻¹ según Wilcox y Durum (1967, citado por Bohn *et al.*, 1993). El agua de riego del huerto en estudio indicó para cloruro 3,4 mmol_c L⁻¹ (podría provocar toxicidad), para sodio de 6,0 mmol_c L⁻¹ (riesgo en aumento) y para boro 0,27 mg L⁻¹ (sin riesgo) (Apéndice VII, Anexo VIII).

Caracterización de la fertilidad del suelo

Fertilidad completa del suelo

El Cuadro 1 presenta el análisis de fertilidad realizado al perfil modal en muestras homogenizadas tomadas a tres profundidades según los horizontes genéticos: de 0 a 25 cm (en adelante P1); de 25 a 55 cm (en adelante P2) y de 55 a 85 cm (en adelante P3).

Cuadro 1. Algunas propiedades químicas y niveles de fertilidad del suelo del perfil modal, Calicata N° 2, con plantas de vid de la variedad Red Globe.

Profundidad ^{1/} (cm)	pH ^{2/} (1:2,5)	CE ^{3/} (dS m ⁻¹)	M.O. ^{4/} (%)	N total ^{4/}	Relación C/N ^{4/; 5/}	N disp. ^{2/}	P disp. ^{2/; 4/}	K disp. ^{2/; 4/}
						(mg kg ⁻¹) ^(*)		
P1	7,7	1,2	4,2	0,15	16	36	10	250
P2	7,8	1,1	1,4	0,05	16	28	4	225
P3	6,8	1,0	0,9	0,05	10	22	3	216

(*) Unidad de mg kg⁻¹ es equivalente a ppm.

^{1/} P1: 0 a 25 cm; P2: 25 a 55 cm y P3: 55 a 85 cm.

^{2/} INIA CHILE (2008b).

^{3/} INIA CHILE (2008a).

^{4/} Cadahía y Lucena (2005).

^{5/} Tejeda *et al.* (2001).

Los resultados del análisis de fertilidad (Apéndice VIII) según la tabla de interpretación (Anexo IX, donde se incluyen las categorías de interpretación de INIA CHILE, 2008b), señalaron para cada profundidad lo siguiente:

Profundidad P1: de pH ligeramente alcalino, salinidad baja, materia orgánica alta, N total medio, N disponible alto, P disponible bajo a medio y K muy alto según las pautas de interpretación planteadas por Cadahía y Lucena (2005) e INIA CHILE (2008b). La relación C/N, según Tejeda *et al.* (2001) es baja, la que junto con el N mineral o N disponible que es alto, debería determinar un incremento en la actividad y población bacteriana que acompaña a la descomposición de la materia orgánica del suelo.

Profundidad P2: de pH ligeramente alcalino, salinidad baja, materia orgánica baja, N total bajo, N disponible medio, P disponible muy bajo y K alto según las pautas de interpretación planteadas por Cadahía y Lucena (2005) e INIA CHILE (2008b). La relación C/N, según Tejeda *et al.* (2001) es baja, lo que indicaría que el N mineral o N disponible que es medio, debería ser aprovechado por los microorganismos con menor intensidad que en la profundidad superficial anteriormente analizada, donde existían mayores condiciones para un incremento y actividad de la población bacteriana.

Profundidad P3: de pH neutro, salinidad baja, materia orgánica baja, N total bajo, N disponible medio, P disponible muy bajo y K alto según las pautas de interpretación planteadas por Cadahía y Lucena (2005) e INIA CHILE (2008b). La relación C/N, según Tejeda *et al.* (2001) es baja, lo que indicaría que el N mineral o N disponible que es medio,

debería ser aprovechado por los microorganismos de manera similar en intensidad que en la profundidad media P2.

El Cuadro 2 presenta el análisis de cationes intercambiables realizado al perfil modal.

Cuadro 2. Cationes intercambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y sus relaciones en el suelo del perfil modal, Calicata N° 2, con plantas de vid de la variedad Red Globe.

Profundidad ^{1/} (cm)	Cationes intercambiables ^{1/}				Suma de bases ^{2/}	CIC ^{2/; 3/}	(K ⁺ /Mg ²⁺) ^{4/}	(Ca ⁺⁺ /Mg ²⁺) ^{4/}
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	(Ca ⁺² + Mg ⁺² + K ⁺ + Na ⁺)			
	-----				cmol _c kg ⁻¹ (*)	-----		
P1	24,0	3,7	0,6	0,5	28,9	29,3	0,17	6,48
P2	18,2	3,0	0,6	0,5	22,2	22,7	0,19	6,06
P3	18,1	2,9	0,6	0,5	22,0	22,0	0,19	6,24

(*) Unidad de expresión cmol_c kg⁻¹ es equivalente a meq (100 g)⁻¹.

^{1/} P1: 0 a 25 cm; P2: 25 a 55 cm y P3: 55 a 85 cm.

^{2/} INIA CHILE (2008b).

^{3/} Tejeda *et al.* (2001).

^{4/} Cadahía y Lucena (2005).

Respecto a los cationes intercambiables Ca⁺²; Mg⁺²; K⁺ y Na⁺, sus niveles son muy altos; muy altos; altos y muy altos, respectivamente, en las tres profundidades según normativa indicada en el Anexo IX.

También las sumas de cationes intercambiables son muy altas, las capacidades de intercambio catiónico (CIC) son altas y las relaciones K⁺/Mg⁺² y Ca⁺²/Mg⁺² son normales en las tres profundidades (Anexo IX). Por otro lado, la participación porcentual de calcio en la CIC solo es levemente alta en P1 y en el resto de las profundidades P2 y P3 es normal. Para magnesio, potasio y sodio, su participación porcentual en la CIC es normal en las tres profundidades.

Navarro y Navarro (2000) señalan que, al añadir un fertilizante potásico soluble, los iones K⁺ sustituirían parte de los iones Ca⁺² en el coloide, de manera que, en cuanto mayor sea el grado de saturación de calcio, mayor será la adsorción al coloide del potasio. Esta situación explicaría por qué en los suelos estudiados en esta investigación sus altos contenidos de calcio intercambiables condicen con altos contenidos de K intercambiables.

Comparación de los métodos extracto de volumen 1:2 con el extracto saturado

En la actualidad, el método más usado para determinar las variables químicas (CE, pH, nitrato, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y cloruro) en el suelo es a través del método de extracto saturado, que requiere el envío a laboratorio de muestra de suelo para su análisis, transcurriendo un tiempo entre el ingreso de la muestra, proceso y entrega de resultados (USSL STAFF, 1954; Rhoades *et al.*, 1999; Hanson *et al.*, 2006; Sadzawka, 1990 y Sadzawka *et al.*, 2006). En consecuencia la medición de estas variables químicas a través del método 1:2, podría resultar en un procedimiento mucho más simple y rápido.

El análisis estadístico de los resultados según ambos métodos, permitió encontrar una correlación entre ellos. Se pudo establecer una correlación significativa (asociatividad positiva) entre el método 1:2 y el método del extracto saturado en todas las variables químicas analizadas según la metodología propuesta por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009); sin embargo, basado en lo planteado por Barrales *et al.* (2004), la confiabilidad (100-discrepancias) entre los dos métodos fueron aceptables para las variables CE, pH, fósforo y potasio, con valores mayores del 70%, y para el resto de los elementos y compuestos como nitrato; calcio, magnesio, sodio y cloruro las confiabilidades presentaron valores menores del 70%.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del método del extracto de saturación entrega una forma de evaluar la salinidad del suelo como pauta para conocer la tolerancia de los cultivos a las sales y en consecuencia cómo se afecta el rendimiento de los cultivos (Grattan 2006, citado por Hanson *et al.*, 2006). También permite clasificar el suelo desde el punto de vista agronómico basado en la salinidad (Tejeda, *et al.*, 2001; INIA CHILE, 2008b).

En el Cuadro 3 se presenta el comportamiento de la CE promedio, según método de extracción, para las diferentes profundidades y calicatas.

Cuadro 3. Conductividad eléctrica (CE) promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2 ^(*)		Calicata 3		Calicata 4 ^(*)	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	----- dS m ⁻¹ -----							
P1	1,25 (±0,48) a	0,78 (±0,10) a	A 0,84 (±0,01) a	A 0,75 (±0,05) a	0,85 (±0,03) a	0,58 (±0,04) a	A 0,86 (±0,04) b	A 0,81 (±0,10) b
P2	1,13 (±0,29) a	0,72 (±0,16) a	A 0,83 (±0,08) a	A 0,66 (±0,08) ab	0,83 (±0,08) a	0,59 (±0,12) a	A 1,05 (±0,19) b	A 0,79 (±0,06) b
P3	1,17 (±0,12) a	0,48 (±0,11) a	A 0,87 (±0,09) a	B 0,47 (±0,11) b	0,98 (±0,11) a	0,67 (±0,06) a	A 3,00 (±0,27) a	B 1,91 (±0,66) a
Promedios	A 1,18	B 0,66	0,84	0,62	A 0,88	B 0,61	1,63	1,17

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para CE señaló que respecto a las calicatas 1 y 3, no existió interacción entre métodos y profundidad, siendo solo significativo el factor método de extracción. Los valores observados de CE señalan que, en términos de significado agronómico, se trata de suelos clasificados como normal no salino según Sierra y Calcagni (1999), Tejeda *et al.* (2001) e INIA CHILE (2008b) (Anexo X); en consecuencia se traduce en perfiles homogéneos del punto de vista de salinidad, donde aún no se ve alterado el rendimiento para uva de mesa según Grattan (2006, citado por Hanson *et al.*, 2006) y Palma (2003; 2006) (Anexo XI). Los valores mostrados en la Calicata 1 en las tres profundidades para el método saturado se clasifican como normales según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo para el método 1:2 los valores vistos correspondieron a valores óptimos en las profundidades P1 y P2 y bajo para profundidad P3 según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII). Para la Calicata 3 en ambos métodos y profundidades sus valores de CE son clasificados como bajos en las tres profundidades.

Diferentes comportamientos a los sitios de muestreo anteriormente descritos se observaron en las calicatas 2 y 4, donde ambas presentaron interacción entre método y profundidad. También existió diferencia significativa en el método, en al menos una profundidad (P3). En las profundidades P1 y P2 no existieron diferencias estadísticamente significativas entre métodos ni tampoco entre profundidades (Cuadro 3). Destacable es lo que sucede con los valores más altos de salinidad en P3 de la Calicata 4 para ambos métodos, los cuales tuvieron diferencias estadísticamente significativas en los factores método y profundidad respecto a las profundidades P1 y P2. Los mayores valores de CE en los extractos en la Calicata 4 profundidad P3 permitieron clasificar esta profundidad según Tejeda *et al.* (2001) e INIA CHILE (2008b) en un suelo ligeramente salino, diferente a las estratas P1 y P2, que corresponden a suelos normales no salinos (Apéndice IX). Lo anterior no podría estar explicado por la mayor presencia de arena y menor de arcilla en P3; sin embargo las mayores fracciones solubles presentes en P3 de calcio, magnesio y sodio obtenidos en ambos métodos podrían explicar la mayor salinidad detectada en esta estrata (textura franca) respecto a las estratas P1 y P2 (texturas franco arcillosa a franco arcillo arenosa respectivamente) para ambos métodos.

Los valores mostrados en la Calicata 2 en las tres profundidades para el método saturado se clasifican como bajos según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo, para el método 1:2 los valores correspondieron a niveles óptimos para la profundidad P1 y bajos para las profundidades P2 y P3 según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII). Para la Calicata 4 se presentaron clasificaciones variables para cada profundidad en el extracto saturado, siendo bajo, normal y alto para las estratas P1, P2 y P3 respectivamente, según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo para el método 1:2 los valores fueron óptimos para las estratas P1 y P2 y alta para la estrata P3, según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

El comportamiento de la CE en las profundidades P1 y P2 en las calicatas 2 y 4 no presenta diferencias estadísticamente significativas en método y profundidad, lo que permitió corroborar parcialmente la hipótesis de esta investigación, es decir, que el método holandés (método 1:2) entrega valores similares de CE al del extracto de saturación de suelo.

Respecto del método 1:2 se observó que los valores de CE son menores que los del extracto saturado, coincidiendo esto con lo planteado por Sonneveld y Van Den Ende (1971), Sonneveld *et al.* (1990) y Hanson *et al.* (2006), siendo las tendencias similares en las cuatro calicatas muestreadas. Esto se podría deber a lo planteado por Hanson *et al.* (2006), quienes señalan que la mayor dilución lograda en el extracto del método 1:2, conlleva a presentar una mayor desviación de la concentración de iones con respecto a la solución de suelo bajo condiciones de campo, debido a una mayor disolución mineral e hidrólisis de iones. El mayor valor de CE observado en la Calicata 4 profundidad 3, en el método del extracto saturado, podría afectar al rendimiento potencial del cultivo de uva de mesa en 14,4% según Hanson *et al.* (2006) y Palma (2003; 2006) (Apéndice IX). Por otro lado, la clasificación de suelos según Sierra y Calcagni (1999) y Tejeda *et al.* (2001) a partir de los valores de CE y PSI permiten decir que en la Calicata 4, para ambos métodos, las estratas P1 y P2 corresponden según su CE a un suelo de salinidad normal; en cambio existió una diferencia en la clasificación en P3, porque para el método de extracto de saturación correspondió a un suelo ligeramente salino (Apéndice IX, Anexo X).

Por otro lado es importante señalar que el contenido de agua al realizar el extracto de saturación es aproximadamente el doble del agua presente en un suelo a capacidad de campo. Como existe un efecto de dilución, es posible que la CE del extracto saturado sea menor que la CE de la solución suelo (Hanson *et al.* 2006).

Correlación entre la CE medida a través del método 1:2 y por el método del extracto de saturación. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009), quienes permitieron probar que para encontrar una correlación (asociatividad) positiva o negativa entre métodos es necesario realizar un análisis de correlación lineal simple, se graficó los resultados de las CE's de los extractos 1:2 y de los extractos de saturación (Figura 4).

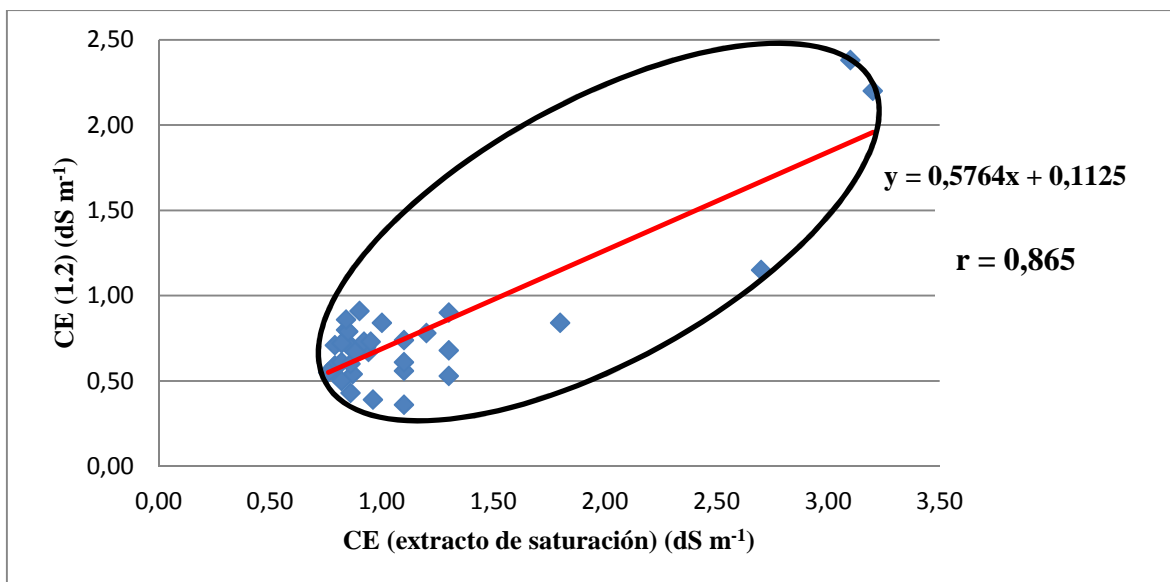


Figura 4. Relación entre las CE's medidas en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en el promedio de las calicatas 1 y 3 y en la calicata 2 y 4 en P3, el valor de coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,865$; $p < 0,0001$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía una asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto la CE obtenida con el nuevo método de análisis propuesto (1:2) se asocia positivamente (representada por la elipse), con la CE obtenida a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

Los resultados de correlación encontrados por Sonneveld y Van Den Ende (1971) y Graham y Quinn (2005) fueron mayores ($r = 0,952$ y $r = 0,948$, respectivamente) que los encontrados en esta investigación.

Valores extremos observados en la Figura 4, representan niveles de CE asociados a la Calicata 4, cuyos valores usualmente representaron en ambos métodos mayores magnitudes en comparación a las otras calicatas.

Como otra forma de establecer una comparación entre el método 1:2 y el de extracto saturado, que permita contrastar la variable química de CE, se aplicó la metodología propuesta por Barrales *et al.* (2004). Para ello se realizó la prueba de χ^2 (Chi cuadrado), que permitió determinar si las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para la CE los métodos son comparables, existiendo un 29% de discrepancia aceptada en dicha afirmación, en consecuencia un 71% de confiabilidad (100-discrepancia aceptada) (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que son comparables ambos métodos en conductividad eléctrica en cuatro de las 12 comparaciones realizadas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad mayor del 70%, y una asociatividad positiva con un alto coeficiente de correlación, es factible predecir el comportamiento del valor de CE del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la correlación por sesgo y regresión (predicción). En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal es el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

pH

La reacción del suelo expresada por el pH, no sólo condiciona la vida de los microorganismos y los procesos claves en que ellos intervienen, sino también la mayor o menor disponibilidad de varios elementos químicos que para la planta son esenciales y la de otros que a determinadas concentraciones pueden resultar tóxicos y producir en ella graves alteraciones.

A continuación, en el Cuadro 4 se presenta el comportamiento del pH promedio en las diferentes profundidades de las cuatro calicatas estudiadas para ambos métodos.

Cuadro 4. El pH promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4 ^(*)	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	P1	8,07 ($\pm 0,12$) a	7,52 ($\pm 0,17$) a	7,80 ($\pm 0,10$) a	7,47 ($\pm 0,06$) a	8,03 ($\pm 0,15$) a	7,52 ($\pm 0,05$) a	A 8,07 ($\pm 0,21$) a
P2	7,93 ($\pm 0,23$) a	7,24 ($\pm 0,22$) a	7,77 ($\pm 0,21$) a	7,47 ($\pm 0,06$) a	7,97 ($\pm 0,06$) a	7,39 ($\pm 0,21$) a	A 7,93 ($\pm 0,15$) a	B 7,34 ($\pm 0,17$) a
P3	7,83 ($\pm 0,15$) a	7,42 ($\pm 0,06$) a	7,70 ($\pm 0,10$) a	7,27 ($\pm 0,11$) a	8,03 ($\pm 0,06$) a	7,51 ($\pm 0,01$) a	A 7,67 ($\pm 0,06$) a	B 6,59 ($\pm 0,19$) b
Promedios	A 7,94	B 7,39	A 7,75	B 7,40	A 8,01	B 7,47	7,89	7,12

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para el pH señaló que respecto a las calicatas 1, 2 y 3, no existió interacción entre métodos y profundidades; siendo sólo estadísticamente significativo el factor método del extracto; sin embargo no fue así entre profundidades. Los valores observados de pH en el Cuadro 4 señalan que, en términos de significado agronómico, se trata de suelos clasificados como altos en su extracto de saturación según INIA CHILE (2008a) al presentar valores de pH mayores de 6,5 y menores de 8,5 (Anexo XII) y en el extracto 1:2 a un suelo también alto de pH según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para el pH señaló que respecto a la Calicata 4, existió interacción entre profundidad y método y también existió diferencia significativa en al menos una profundidad (P3). Respecto a las profundidades P1 y P2, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre ellas, pero sí con P3 en el método 1:2, que llegó al menor valor entre todos los casos (6,59). En cuanto a la clasificación según INIA CHILE (2008a) los valores mostrados en el extracto saturado corresponden a pH altos (Anexo XII), y en el extracto 1:2 a un suelo también alto de pH según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

Al existir diferencias estadísticamente significativas entre los métodos en todas las profundidades y calicatas, se corrobora que no es posible aceptar la hipótesis de esta investigación, es decir que el pH según el método holandés (método 1:2) sea similar al de extracto de saturación de suelo.

Según Bohn *et al.* (1993), los factores que influyen en las mediciones de pH son la relación existente entre la solución y el suelo y la concentración salina de equilibrio, de manera que si normalmente aumentan cualquiera de los dos factores disminuye el valor medido de pH; esta sería la explicación del porqué al incrementar la salinidad en la Calicata 4, la estrata P3 disminuyó más el valor de pH en el método 1:2.

Correlación entre el pH determinado a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre los métodos (Figura 5).

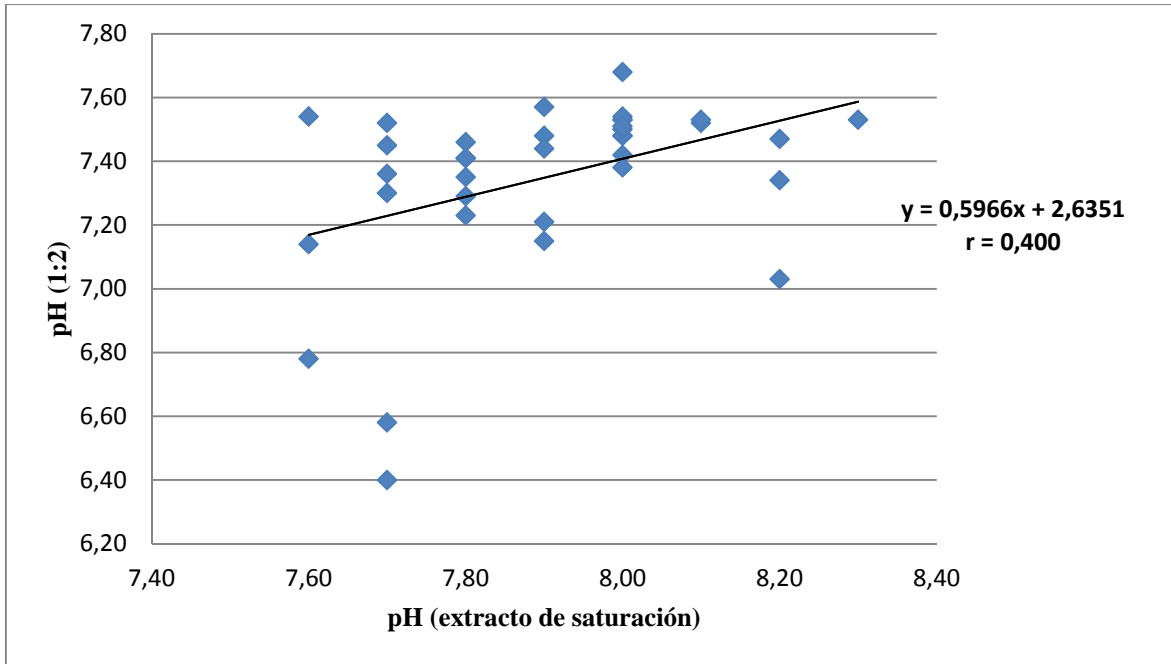


Figura 5. Relación entre los pH's medidos en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en todas las calicatas y profundidades, el valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,400$; $p < 0,0155$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el pH obtenido con el nuevo método de análisis propuesto extracto 1:2 se asocia positivamente con el pH logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

Con la finalidad de establecer una comparación del método del extracto 1:2 y extracto saturado que permita contrastar la variable química de pH, la prueba de χ^2 determinó si las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el pH los métodos son comparables, imponiendo un 75% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que no son comparables ambos métodos en pH en ninguna de las cuatro calicatas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad mayor del 70%, y una asociatividad positiva pero con un bajo coeficiente de correlación, se concluye que no es posible predecir el comportamiento del valor de pH del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la corrección por sesgo utilizada en la prueba de Chi cuadrado y regresión (predicción). En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal no sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Nitrato

El nitrógeno es el elemento mineral más importante en la nutrición de las plantas. Este nutriente, que es señalado como macronutriente primario por Palma (2006); es constituyente de los aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, siendo esencial para el crecimiento. Razeto (1993); Christensen *et al.* (1978) y Hawkesford *et al.* (2012) señalan que el nitrógeno forma parte de la molécula de clorofila, motivo por el cual influye directamente en la fotosíntesis al integrar la enzima rubisco, que es la principal enzima en el ciclo de fijación del anhídrido carbónico por la hoja y en consecuencia en la producción. Es un elemento bastante móvil según Palma (2006) y Razeto (2011).

Su absorción por parte de las raíces de las plantas es tanto como NH_4^+ y como NO_3^- según Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012).

Este nutriente ingresa en el suelo de forma natural por el proceso de descomposición de los tejidos vegetales junto con la cantidad añadida externamente a través de la fertilización. Es fácilmente utilizado por los microorganismos del suelo, realizando digestiones enzimáticas en procesos tales como aminificación y amonificación (Navarro y Navarro, 2000). El nitrógeno amoniacal producido al final del proceso de amonificación puede tomar la dirección de oxidarse enzimáticamente por bacterias nitrificantes (nitrosomonas y nitrobacter) que usan al amonio y nitrito no sólo como fuente de nitrógeno, sino que también como fuente de energía. Los factores principales que afectan a la nitrificación son: contenido de ión amonio y relación C/N de la materia orgánica del suelo; reacción del suelo (pH) y presencia de elementos esenciales; aireación; temperatura y humedad del suelo (Buckman y Brady, 1977). Este nitrato es altamente soluble en agua y no es retenido por los coloides del suelo, por lo que desciende en el perfil arrastrado por el agua en el patrón del bulbo de humedad bajo el gotero; dicha movilidad depende de la textura del suelo y de la cantidad de agua aplicada, ya sea como lluvia o a través del riego (Cadahía y Lucena, 2005; Bohn *et al.*, 2001; Stirzaker, 2008a).

Usualmente, el nitrógeno nítrico o nitrato (N-NO_3^-), que se produce mediante la nitrificación o el aporte a través de fertilizantes nitrogenados, es utilizado por los vegetales para la síntesis de tejidos (Razeto, 2011). Sin embargo bajo condiciones desfavorables en el suelo, tales como suelos pesados, mal aireados y húmedos, se produce la reducción de estos nitratos a través del proceso conocido como desnitrificación, el cual estaría afectado por factores tales como: pH, humedad, oxígeno disuelto, aporte de azufre por competencia de oxígeno y materia orgánica (Buckman y Brady, 1977).

Otros procesos como volatilización del amonio y lixiviación de nitratos son importantes como pérdidas o inhibición de formación de nitratos (Navarro y Navarro, 2000).

La presencia del nitrógeno utilizable para las plantas generalmente se expresa a través de la medición de nitrato (NO_3^-). Los valores promedio medidos de este compuesto en esta investigación para las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos se indican en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Nitrato promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
----- mmol _c L ⁻¹ -----								
P1	1,23 (±0,35) a	4,33 (±2,72) a	0,84 (±0,15) a	2,12 (±2,20) a	1,00 (±0,44) a	2,43 (±0,69) a	B 1,98 (±0,31) a	A 6,52 (±1,95) a
P2	1,03 (±0,39) a	4,45 (±2,92) a	0,63 (±0,23) a	1,31 (± 0,99) a	0,64 (±0,05) a	1,78 (±0,26) a	A 1,40 (±0,30) a	A 2,88 (±0,15) b
P3	0,92 (±0,13) a	2,19 (±0,55) a	0,56 (±0,05) a	1,86 (±0,38) a	0,92 (±0,22) a	2,52 (±0,53) a	A 1,39 (±0,30) a	A 2,55 (±0,49) b
Promedios	B 1,06	A 3,65	B 0,67 ^(*)	A 1,76 ^(*)	B 0,85	A 2,24	1,59	3,98

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para nitrato, señaló que respecto a las calicatas 1, 2 y 3, no existió interacción entre métodos y profundidades, siendo estadísticamente significativo solo el factor método del extracto. A pesar de haber diferencias en los valores del método extracto saturado, éstos no son significativamente distintos de los valores mayores obtenidos por el método 1:2 (Cuadro 5). En términos de significado agronómico, para el método saturado todos los valores observados fueron muy bajos, por ser menores de 2 mmol_c L⁻¹ y aunque no fue posible encontrar estándares de interpretación para este método. Kliewer y Cook (1971, citado por Palma 2003) y Cadahía (2005, citado por Palma 2005) señalan valores ideales en la solución nutritiva de 6 y 8 mmol_c L⁻¹ para la fase de brotación en uva de mesa y de vino respectivamente. Para el método del extracto 1:2 los valores correspondieron en general a valores bajos, con excepción de la Calicata 1 para las profundidades P1 y P2, que mostraron valores mayores clasificados como óptimos según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para nitrato señaló que respecto a la Calicata 4, existió interacción entre profundidad y método, también existió diferencia significativa en el método 1:2 en la estrata superficial (P1) respecto a las estratas media y profunda (P2 y P3). Estas últimas estratas, que no presentaron diferencias estadísticamente significativas en método y profundidad, permitieron corroborar parcialmente la hipótesis de esta investigación, es decir, que el método holandés (método 1:2) entrega valores similares en nitrato al del extracto de saturación de suelo (Cuadro 5). En términos de significado agronómico, para el método saturado las tres estratas mostraron valores muy bajos por ser menores a 2 mmol_c L⁻¹; sin embargo para el método del extracto 1:2 los valores vistos en las tres profundidades correspondieron a valores óptimos según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

Respecto del método 1:2, se observó que los valores son superiores a los del extracto saturado, no coincidiendo esto con lo planteado por Sonneveld y Van Den Ende (1971) y Sonneveld *et al.* (1990).

Destacable es lo observado en la profundidad superficial P1 en el método 1:2 en la Calicata 4, al mostrar valores superiores que las estratas P2 y P3, lo que estaría explicado según Buckman y Brady (1977) como efecto de los procesos de aminificación, amonificación y nitrificación, por disponer de un mayor contenido de materia orgánica en esta profundidad (Cuadro 1). Por otro lado también existió un N total normal y alto N disponible en la estrata P1, en relación a los valores bajos de P2 y P3 para ambos nitrógenos analizados. Dadas las relaciones C/N determinadas en el Cuadro 1 para las estratas superior y media (P1 y P2) del perfil modal, con valores de 16 en ambas profundidades, se debiera garantizar la liberación neta de nitrógeno mineral, influyendo selectivamente sobre los microorganismos del suelo al ejercer un control fuerte sobre la nitrificación, de acuerdo a lo señalado por Buckman y Brady (1997) y Navarro y Navarro (2000).

De acuerdo a lo planteado por Bohn *et al.* (2001), en cuanto a que el efecto de la carga de un anión es menos significativo, debido a que pocos son los aniones que se encuentran en la doble capa difusa, es factible una importante movilidad de este compuesto en el perfil. En

algunos casos existe una acumulación de nitrato en la estrata P3, esto podría deberse a un alto grado de movilidad de este compuesto hacia las estratas más profundas (Buckman y Brady, 1977; Cadahía y Lucena, 2005), junto con la dinámica propia de los nutrientes dentro de un bulbo de humedad creado bajo una condición de riego por goteo (Stirzaker et al., 1999; Ben-Gal y Dudley, 2003; Palma, 2003; 2005; Goto 2007).

Correlación entre la determinación de nitrato a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre métodos (Figura 6).

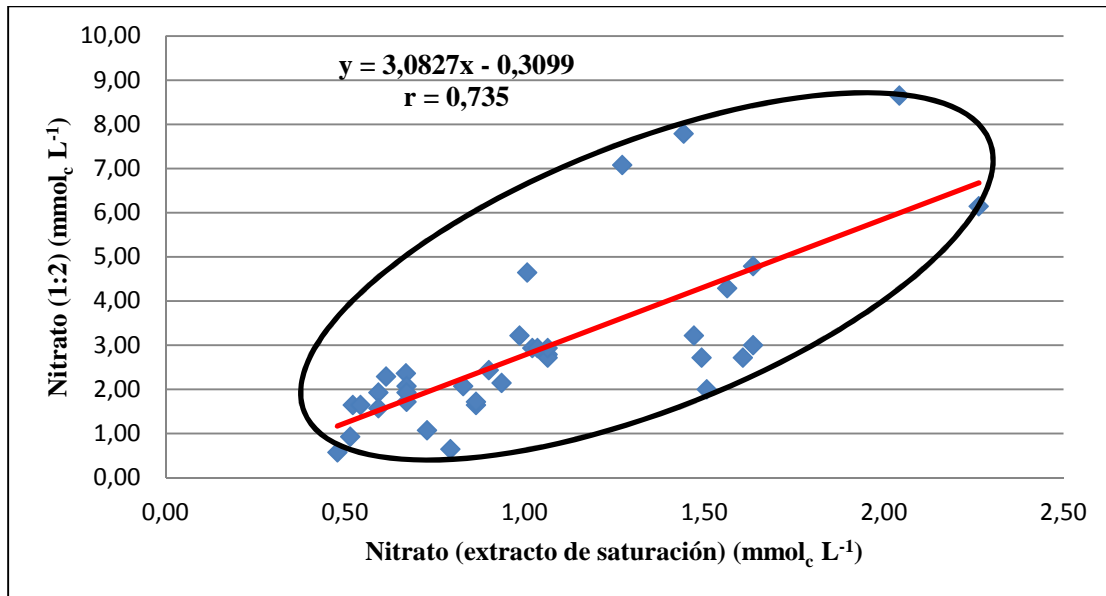


Figura 6. Relación entre nitratos medidos en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en la mayoría de las calicatas, con excepción de la Profundidad P2 y P3 en calicata 4, el valor de coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,735$; $p < 0,0001$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existe asociatividad y estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el nitrato obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente (representada por la elipse), con el nitrato logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

El resultado del coeficiente de correlación encontrado para el nitrato por Sonneveld y Van Den Ende (1971) fue mayor ($r = 0,982$) respecto a esta investigación.

Con la finalidad de establecer una comparación del método 1:2 y extracto saturado que permitiera contrastar la variable química de nitrato, la prueba de χ^2 determinó si las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el nitrato los métodos

son comparables, imponiendo solo un 37% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que son comparables ambos métodos en nitrato en dos de las 12 comparaciones realizadas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad menor del 70%, y aunque una asociatividad positiva con un coeficiente de correlación razonable, no es posible predecir el comportamiento del valor de nitrato del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la correlación por sesgo y regresión (predicción) por su bajo nivel de confiabilidad. En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal no sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Fosfato

El fósforo es un macronutriente primario que participa en las reacciones de transferencia de energía como constituyente de ADP y ATP, junto con regular la síntesis y transporte de azúcares (Razeto, 2011; Hawkesford *et al.*, 2012). El P es constituyente de los aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos, siendo esencial para el crecimiento (Razeto, 2011). El rol del fósforo dentro de la planta tiene relación con la división celular y el crecimiento, así como la formación de albúminas, floración y fructificación, formación de semilla, transferencia de energía, crecimiento de raíces, especialmente de raicillas laterales fibrosas, resistencia a las enfermedades, maduración y formación de pigmentos en la baya en el cultivo de uva de mesa (Buckman y Brady, 1977; Palma, 2006; Hawkesford *et al.*, 2012). Es un nutriente de alta movilidad en la planta según Palma (2006) y Razeto (2011).

Su absorción por parte de las raíces de las plantas es tanto como ión HPO_4^{2-} y como H_2PO_4^- según Christensen *et al.* (1978); Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012).

La manera que se presenta el fósforo en el suelo es casi exclusivamente como ortofosfato, y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4), sin embargo el fósforo se encuentra en cantidades muy pequeñas en la solución del suelo según Fassbender y Bornemisza (1987). El fósforo sufre fijación en el suelo de manera que su disponibilidad en forma soluble es baja y no es fácilmente recuperable, incluso a pesar de tener una menor demanda de este elemento en relación a otros nutrientes por parte de la planta. Los compuestos inorgánicos de fósforo presentes en el suelo por lo general están en forma insoluble, a excepción de algunos fertilizantes solubles cristalizados y ácido fosfórico, que están disponibles rápidamente cuando son aplicados vía fertirriego, mejorando enormemente su asimilación por parte de la planta al incrementar su eficiencia al usar riego tecnificado (Palma, 2006). La otra fuente de aporte al suelo de este elemento son los compuestos orgánicos tales como derivados de fitina, ácidos nucleicos, fosfolípidos (Buckman y Brady, 1977) y fosfatos metabólicos, fosfoproteínas y fosfatos del ácido inositolhexasfosfórico o inositol (Fassbender y Bornemisza, 1987); siendo este último grupo de compuestos los que llegan a constituir el 50% del P orgánico. En algunos suelos, la participación de P orgánico en el P total generalmente varía entre un 25 y 75%, pudiendo

en casos extremos, estos límites extenderse hasta 3 y 85% según Fassbender y Bornemisza (1987).

Se conoce que el aprovechamiento del fósforo por la planta está determinado en alto grado por la forma iónica de este elemento, la cual está controlada por el pH de la solución en que dicho elemento se encuentre. Así, se tiene que en soluciones muy ácidas, se encuentra como H_3PO_4 (pH entre 0 y 2) y como H_2PO_4^- (pH de 2 a 7). Si el pH aumenta (pH de 7 a 12), predomina primero el ion HPO_4^{2-} y finalmente, el PO_4^{3-} (pH mayor a 13) según Fassbender y Bornemisza (1987); Bohn *et al.* (1993) y Bohn *et al.* (2001). En los niveles intermedios de pH es posible que estén presentes simultáneamente dos iones fosfatos según Buckman y Brady (1977), de manera que si se tiene un pH de 6,0, se encuentren conjuntamente los iones H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} . Frente al aprovechamiento máximo del fósforo inorgánico según el pH, Navarro y Navarro (2000) plantean que la precipitación del fósforo bajo forma de fosfatos hidroxilados insolubles de hierro y aluminio es máxima entre pH comprendidos entre 3 y 4. Al incrementar el pH, esta precipitación se debilita, y se anula hasta alcanzar el valor de 5,5, a partir del cual se inicia la precipitación como fosfatos cálcicos, la cual se incrementa hasta alcanzar un máximo entre pH 8 y 9.

También se ha señalado por Fassbender y Bornemisza (1987) y Buckman y Brady (1977) que la distribución de los fosfatos inorgánicos dependen también de la granulometría del suelo, donde en suelos arenosos predominan los fosfatos cálcicos y en los arcillosos los fosfatos aluminicos y férricos, así como condiciones de inundaciones (cultivo de arroz y pantanos) propician la acumulación de fosfatos ferrosos. Por otro lado, el aprovechamiento de los fosfatos inorgánicos por parte de la planta viene determinado por precipitados recientes de fosfatos de Ca, Fe y Al y compuestos semejantes sobre la superficie (Buckman y Brady, 1977; Navarro y Navarro, 2000).

Además, en adición a lo mencionado como el pH y factores de precipitación y formación de compuestos, hay que señalar que la materia orgánica y los microorganismos juegan un rol fundamental en la utilización del fósforo inorgánico, ocurriendo una retención temporal dada la alta actividad microbiana. Por otro lado insumos tales como ácidos orgánicos y humus forman parte activa en la formación de complejos con compuestos de Fe y Al, reduciendo notablemente la fijación de fosfatos inorgánicos (Buckman y Brady, 1977). Así mismo, la participación de los microorganismos en los procesos de mineralización del P orgánico es muy importante según Fassbender y Bornemisza (1987).

Los contenidos promedio de fosfato expresado como PO_4^{3-} , en las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos de extracción se observa en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Fosfato promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	----- mmol _c L ⁻¹ -----							
P1	0,013 (±0,01) a	0,093 (±0,06) a	0,01 (±0,01) a	0,21 (±0,17) a	0,01 (±0,00) a	0,13 (±0,12) a	B 0,02 (±0,01) a	A 0,46 (±0,15) a
P2	0,003 (±0,01) a	0,060 (±0,00) a	0,00 (±0,01) a	0,22 (±0,17) a	0,01 (±0,01) a	0,30 (±0,33) a	A 0,00 (±0,00) a	A 0,10 (±0,08) b
P3	0,000 (±0,00) a	0,060 (±0,00) a	0,00 (±0,00) a	0,06 (±0,00) a	0,00 (±0,00) a	0,06 (±0,00) a	A 0,00 (±0,00) a	A 0,12 (±0,10) b
Promedios	B 0,005	A 0,071	B 0,003	A 0,16	B 0,006	A 0,16	0,01	0,22

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey (p>0,05).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey (p>0,05).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para fosfato señaló que respecto a las calicatas 1, 2 y 3, no existió interacción entre métodos y profundidades; siendo solo estadísticamente significativo el factor método de extracción. De manera que a pesar de haber diferencias en sus valores más bajos en el método extracto saturado, estos no son significativamente distintos de los mayores valores obtenidos por el método 1:2. En términos de significado agronómico, para el método saturado se lograron valores muy bajos, por ser menores de $0,02 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, y aunque no se conocen estándares de interpretación para este método, Cadahía (2005, citado por Palma 2005) señala mantener el valor ideal en la solución nutritiva de $1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ durante todo el ciclo de producción de vid vinífera. Para el método del extracto 1:2, los valores correspondieron en general a niveles bajos, al ser menores que $0,1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ en todas las profundidades (Van den Bos *et al.*, 1999) (Anexo XIII).

El ANDEVA para fosfato señaló también que respecto a la Calicata 4, existió interacción entre profundidad y método y también existió en el método 1:2 diferencia significativa en el método en la estrata superficial (P1) como también en profundidad respecto a las estratas media y profunda (P2 y P3). Estas últimas estratas, al no presentar diferencias estadísticamente significativas en método y profundidad, permitieron corroborar la hipótesis de esta investigación, es decir, que el método holandés (método 1:2) entrega valores similares en fosfato al del extracto de saturación de suelo (Cuadro 6). En términos de significado agronómico, para el método saturado las tres estratas mostraron valores muy bajos, por ser menores a $0,02 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$; sin embargo para el método del extracto 1:2 los valores vistos correspondieron en general a un valor alto en P1 y valores óptimos para P2 y P3 según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

Respecto del método 1:2 se observó que los valores de fosfatos son superiores a los del extracto saturado, no coincidiendo esto con lo planteado por Sonneveld y Van Den Ende (1971) y Sonneveld *et al.* (1990).

El mayor valor de fosfato detectado en la superficie (P1) en todas las calicatas para ambos métodos tiene relación con la capacidad de retención de fósforo del suelo superficial el cual ya se ha saturado y por tanto se mantiene en solución una mayor proporción del fósforo aplicado en el fertirriego. También la cantidad de fósforo disponible es normal en relación a la baja cantidad determinada en las estratas media y profunda (P2 y P3) (Cuadro 1).

Correlación entre la determinación de fosfato a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre ambos métodos (Figura 7).

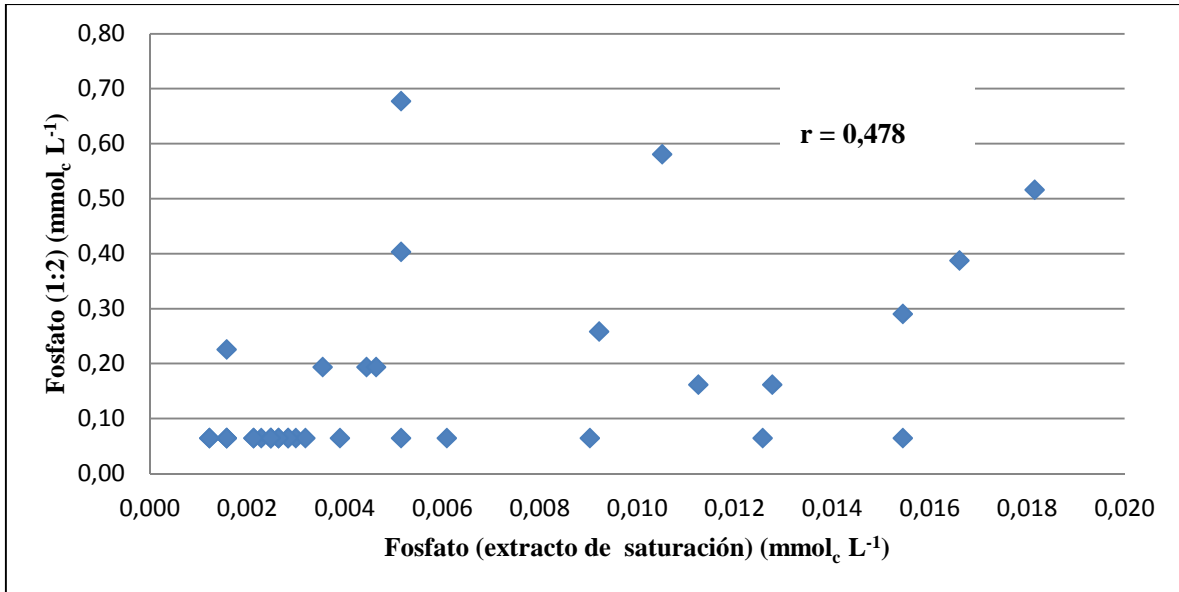


Figura 7. Relación entre el fosfato medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en la mayoría de las calicatas y profundidades, exceptuando la estrata P2 y P3 de la Calicata 4, el valor de “coeficiente de correlación lineal de Pearson” ($r = 0,478$; $p < 0,0032$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el fosfato obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente con el fosfato logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

El resultado de coeficiente de correlación encontrado para el fosfato por Sonneveld y Van Den Ende (1971) fue mayor ($r = 0,943$) respecto a esta investigación.

Con la finalidad de establecer una comparación del método 1:2 y del extracto saturado, que permitiera contrastar la variable química de fosfato, la prueba de χ^2 determinó si las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el fosfato los métodos son comparables, imponiendo un 82,5% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que son comparables ambos métodos para fósforo en dos de las 12 comparaciones realizadas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad mayor del 70%, y una asociatividad positiva pero con un bajo coeficiente de correlación, no es posible predecir el comportamiento del valor de fosfato del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la corrección por sesgo utilizada en la prueba de Chi cuadrado y regresión (predicción). En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal no sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Potasio

Inmediatamente después del nitrógeno y fósforo, el potasio es el tercer elemento esencial, que limita la productividad de las plantas (Buckman y Brady, 1977) y de la uva de mesa (Ruiz y Sadzawka, 2005). El potasio es señalado como macronutriente primario por Palma (2006) y que a pesar de encontrarse en grandes cantidades en las plantas, éste no forma parte de compuestos bioquímicos definidos y sus funciones no están del todo esclarecidas (Razeto, 1993). Es indicado como el catión por excelencia y por ello neutraliza a los radicales ácidos que produce el metabolismo de las raíces (Razeto, 2011; Hawkesford *et al.*, 2012). El rol del potasio dentro de la planta tiene relación con ser un catión osmóticamente más activo en tejidos celulares (turgencia) lo cual tiene relación con impactar positivamente en el calibre o peso del fruto y firmeza. El potasio genera una menor deshidratación, cataliza o activa enzimas en múltiples procesos, promueve la producción de proteína y reduce la acumulación de putrescina y amonio, incrementa la fertilidad de yema, promover fotosíntesis, intensifica el transporte – competencia – almacenamiento de asimilados (formación de almidón e hidrólisis de azúcares), prolonga e intensifica los períodos de asimilación de calidad de fruta, mejora la eficiencia de fertilizantes nitrogenados, regula la abertura y cierre de estomas (células de guarda), genera resistencia a las enfermedades y estrés, contrarresta excesos de N y P y fortalece el sistema de enraizamiento, maduración y formación de pigmentos en la baya en el cultivo de uva de mesa según Buckman y Brady (1977); Christensen *et al.* (1978); Navarro y Navarro (2000); Ruiz y Sadzawka (2005); Palma (2006) y Hawkesford *et al.* (2012). Es un elemento móvil en la planta, que se desplaza libremente en la corriente transpiratoria (Palma, 2006; Razeto, 2001).

La absorción de potasio por parte de las raíces de las plantas es como ion K^+ y en ese estado circula por el xilema, proporcionalmente al flujo transpiratorio según Christensen *et al.* (1978); Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012).

Buckman y Brady (1977) señalan que la dinámica del potasio indica que existen diferentes formas según asimilación en los suelos, de manera que se habla de tres formas: no aprovechable, lentamente asimilable y rápidamente asimilable, de manera que aunque la mayor parte del potasio del suelo esté en la primera de estas tres formas, las otras dos son de relevante importancia. Respecto a las formas rápidamente asimilables, que constituye sólo el 1 a 2% de la cantidad total de este elemento en un suelo, tanto Buckman y Brady (1977) y otros autores como Ruiz y Sadzawka (2005) separan esta tercera forma en K intercambiables en la superficie de los coloides y K en la solución de suelo.

El potasio en su forma no aprovechable está formando parte de micas y feldespatos, donde este K estructural de minerales primarios, constituye la principal manera (90 a 99%) en que se encuentre el K en el suelo, siendo esta forma de entrega muy lenta de K, muy resistentes a la meteorización y de suministro relativamente pequeño durante una temporada, sin embargo liberan a través de los años una importante cantidad al ser favorecidos por la acción de ácidos orgánicos e inorgánicos, liberados por las raíces de las plantas o por mineralización de la materia orgánica según Buckman y Brady (1977) y Ruiz y Sadzawka (2005).

El potasio lentamente asimilable, constituye la fracción no intercambiable que corresponde alrededor de 1 a 10% del K total y se refiere al K no cambiante por medio de los métodos comunes de cambio que se encuentra fijado en las capas de cristales de arcilla, esencialmente tipo 2:1, formando parte de la estructura cristalina. Como tal, este K no es posible de ser utilizado por las plantas; sin embargo, actúa como un importante depósito de potasio lentamente aprovechable debido a que está en equilibrio con las formas más disponibles de K (Buckman y Brady, 1977; Ruiz y Sadzawka, 2005).

El potasio intercambiable es el adsorbido en las superficies coloidales del suelo y constituye el 90% del K total asimilable, siendo afectado por las leyes que controlan los procesos de intercambio catiónico (Buckman y Brady, 1977; Bohn *et al.*, 1993; Ruiz y Sadzawka, 2005). Este K es determinado a través del análisis de cationes intercambiables, realizado tradicionalmente en un laboratorio bajo el procedimiento señalado por Sadzawka (1990) y Sadzawka *et al.* (2006) y su interpretación se rige bajo la tabla de interpretación según Tejeda *et al.* (2001) e INIA CHILE (2008b) presente en Anexo IX.

Finalmente, el potasio de la solución de suelo, el cual puede provenir de la aplicación de fertilizantes como también del K soluble presente en el agua de riego, es fácilmente absorbido por las plantas y por supuesto sujeta a considerables pérdidas por drenaje (Reitemeyer, 1951). Este K en solución de suelo está en equilibrio dinámico con el K intercambiable antes descrito, siendo situación muy relevante del punto de vista práctico, ya que la absorción de la planta rompe temporalmente este equilibrio según Buckman y Brady (1977), de manera que para restituirlo, parte del K intercambiable se desplaza hacia la solución acuosa del suelo, restableciendo dicho equilibrio. A su vez, la demanda de K hacia la forma de K intercambiable desde la solución de suelo se verifica. La suma de ambas formas se conoce como el K disponible, el cual es determinado bajo la metodología descrita por Sadzawka (1990) y Sadzawka *et al.* (2006) y su interpretación se rige bajo la tabla de interpretación según Tejeda *et al.* (2001) e INIA CHILE (2008b). Lo mismo ocurre con el análisis de la fracción soluble del extracto de saturación (pasta de saturación) donde se analiza el K soluble bajo el procedimiento en laboratorio señalado por Richards (1954, citado por USSL STAFF, 1954); Sadzawka (1990) y Sadzawka *et al.* (2006) y su interpretación según INIA CHILE (2008a).

Los valores promedio del potasio en las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos se indican en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Potasio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3*		Calicata 4**	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
----- mmol _c L ⁻¹ -----								
P1	0,31 (±0,09) a	0,29 (±0,12) a	0,12 (±0,05) a	0,10 (±0,03) a	0,15 (±0,07) a	0,14 (±0,01) a	A 0,23 (±0,03) a	A 0,15 (±0,00) a
P2	0,22 (±0,12) ab	0,22 (±0,16) ab	0,09 (±0,04) a	0,08 (±0,03) a	0,09 (±0,01) b	0,08 (±0,03) b	A 0,06 (±0,02) c	A 0,08 (±0,03) a
P3	0,06 (±0,06) b	0,07 (±0,02) b	0,06 (±0,02) a	0,06 (±0,02) a	0,09 (±0,01) b	0,11 (±0,03) ab	A 0,14 (±0,01) b	A 0,13 (±0,05) a
Promedios	A 0,19	A 0,19	A 0,09	A 0,08	A 0,11	A 0,11	0,14	0,12

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para potasio señaló que respecto a calicatas 1, 2 y 3, no existió interacción entre métodos y profundidades; como tampoco existieron diferencias estadísticamente significativas entre métodos, esto permitió corroborar la hipótesis de esta investigación. La respuesta de las profundidades son variadas; así, en la Calicata 1 solo existen diferencias significativas entre la estrata superficial P1 y la estrata mas profunda (P3) para ambos métodos; en la Calicata 2 no se observó diferencias estadísticamente significativas en ninguna profundidad para ambos métodos y en la Calicata 3 la estrata superficial (P1) mostró diferencias estadísticamente significativas sólo respecto a P2 (Cuadro 7). En términos de significado agronómico, para el método saturado todos los valores observados en las calicatas 1, 2 y 3 correspondieron a valores muy bajos, por ser menores a $1,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); por otro lado para el método del extracto 1:2 los valores correspondieron a valores bajos, al ser menores que $1,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ en todas las profundidades según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

El ANDEVA para potasio señaló también que respecto a la Calicata 4, existió interacción entre profundidad y método, lo que indica que bajo ciertas circunstancias, el método de extracto saturado podría ser más sensible que el método 1:2; sin embargo no existieron diferencias estadísticamente significativas entre métodos, esto permitió corroborar la hipótesis de esta investigación. La respuesta de las profundidades fueron variadas; así, en el método saturado hubo diferencias estadísticamente significativas en las tres profundidades de la Calicata 4, destacando el mayor valor en la estrata superficial (P1). En el método 1:2 no existieron diferencias estadísticamente significativas entre profundidades, sin embargo, nuevamente el mayor valor fue encontrado en la estrata superficial (P1) (Cuadro 7). En términos de significado agronómico, para el método saturado las tres estratas mostraron valores muy bajos, por ser menores a $1,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); por otro lado para el método del extracto 1:2 las tres estratas mostraron valores bajos, al ser menores que $1,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ en todas las profundidades según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

Respecto del método saturado, se observó que los valores de potasio son mayores o iguales a los del extracto 1:2, coincidiendo esto con lo encontrado por Sonneveld y Van Den Ende (1971) y Sonneveld *et al.* (1990).

A pesar de ser todos los valores de potasio soluble muy bajos a bajos para los métodos saturados y 1:2 respectivamente (Cuadro 7), se encontraron siempre los valores más altos de potasio soluble en la estrata superficial (P1) en todas las calicatas respecto a las profundidades P2 y P3, lo que podría estar explicado por el mayor contenido de materia orgánica presente en esta profundidad (Cuadro 1), la cual favorece una mayor capacidad de retención de agua y en consecuencia una mayor presencia de cationes de potasio en solución.

La determinación en la Calicata 2 de los valores muy altos y altos de potasio disponible, junto con alto potasio intercambiable y óptimo porcentaje del K en CIC para las tres profundidades (Cuadros 1 y 2), se contrarrestan con los contenidos solubles muy bajos y bajos de los métodos extracto saturado y holandés, respectivamente. Estos resultados

permitieron diagnosticar que se estaba frente a una actividad dinámica de alta fijación de K y liberación lenta de este elemento (Cuadro 7). Estos resultados podrían ser explicados por lo planteado por Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003), que señalan que el elemento intercambiable puede quedar retenido en el complejo de intercambio sin que esté disponible en forma soluble para la planta, reduciendo su lixiviación: de ahí la importancia de caracterizar la fracción soluble en un suelo, sobre todo si un cultivo se encuentra bajo riego tecnificado.

Ruiz y Sadzawka (2005) señalaron que la fijación y liberación de K (referido al equilibrio dinámico y reversible anteriormente nombrado) está controlado por la calidad y cantidad de arcilla presente en el suelo junto con factores tales como estructura, pH, encalado, temperatura, fertilización potásica y ciclos de humedad y sequía. Los altos pH's determinados (Cuadro 4) junto con los altos contenidos de K intercambiables (Cuadro 7) hacen considerar que la alta fijación del K estaría explicada en parte por el tipo y porcentaje de arcilla, como también de una posible aplicación de fertilización potásica ocurrida en temporadas anteriores, justamente porque Ruiz y Sadzawka (2005) demostraron en parronales de uva de mesa en el Valle de Aconcagua que la adición de fertilizantes ricos en K aumentaban las fracciones de K soluble y K no intercambiables, más no el K intercambiable, traducido en que al no fertilizar una temporada se incrementa la fijación de K. También, para que exista una importante cantidad de K en solución, esta debe ser proporcionada desde la fracción intercambiable (Bohn *et al.*, 1993), la cual no se verifica si no se tiene una buena saturación de la arcilla, que tampoco se logra si existe una deficiente fertilización durante la temporada.

Correlación entre la determinación de potasio a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre métodos (Figura 8).

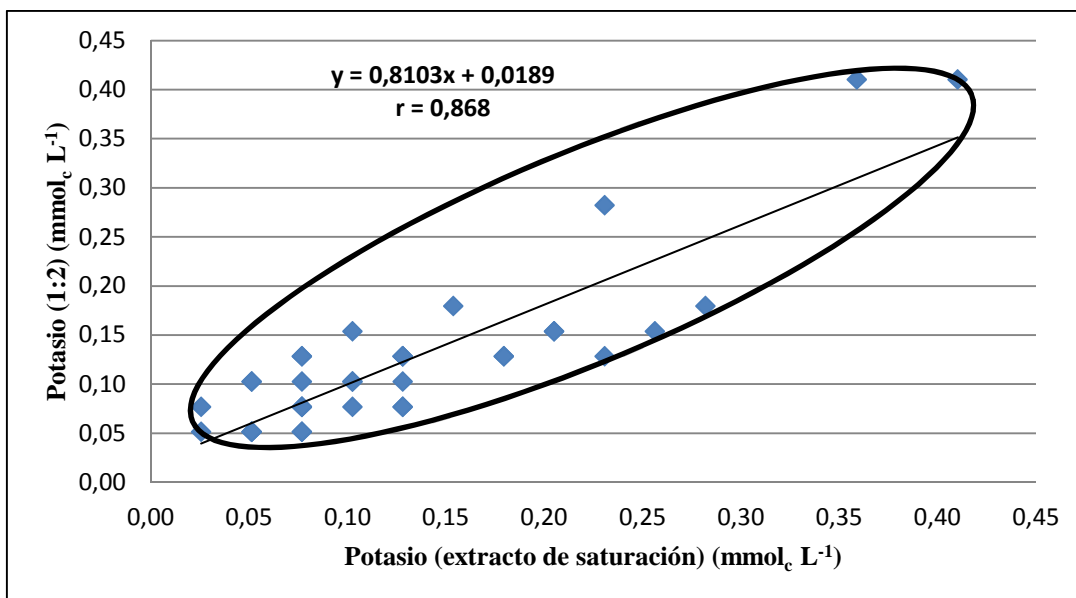


Figura 8. Relación entre el potasio medido en los extractos 1:2 y extractos saturados, en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

Como no existieron diferencias estadísticamente significativas entre métodos en todas las calicatas, el valor de coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,868$; $p < 0,0001$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existe asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el K obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente (representada por la elipse), con el K logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

El coeficiente de correlación encontrado para el potasio por Sonneveld y Van Den Ende (1971) fue de mayor valor ($r = 0,965$) respecto al de esta investigación.

Con la finalidad de establecer una comparación del método 1:2 y extracto saturado, de manera de contrastar la variable química de K, la prueba de χ^2 demostró si las discrepancias entre los métodos, eran confiables, resultando que para el K los métodos son comparables, imponiendo un 93% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI), siendo este porcentaje de confiabilidad el más alto encontrado para las variables químicas estudiadas.

En resumen, el ANDEVA demostró que son comparables ambos métodos para potasio en todas las comparaciones realizadas, cumpliéndose la hipótesis de esta investigación. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad mayor del 70%, y una asociatividad positiva con un alto coeficiente de correlación, es factible predecir el comportamiento del valor de K del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la correlación y regresión (predicción). En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Calcio

El calcio es un macronutriente secundario cuya función es la estabilización de las membranas celulares, ya que es constituyente de la estructura de la protopectina como agente cementante de la lámina media y en la pared primaria celular, lo que permite mantener la integridad celular, incrementar la cohesión y estructura celular, promover producción de proteína, actuar como mensajero secundario, promover crecimiento de raíces, regular absorción de nitrógeno, translocación de carbohidratos y proteínas, neutralizar ácidos orgánicos, activar enzimas como amilasas y fosfolipasas y regular la absorción de elementos antagónicos como K, Mg y Na (Razeto, 2011). Es un nutriente de nula movilidad en el floema de la planta según Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012).

Este nutriente esencial según Razeto (2011) es absorbido preferentemente como ion Ca^{+2} (Razeto, 2011; Hawkesford *et al.*, 2012).

El calcio inorgánico presente en el suelo proviene del aporte de fertilizantes, enmiendas, rocas y minerales de los que el suelo está formado, especialmente como es el caso de los suelos calizos. Por efecto de la mineralización propiamente tal, compuestos como carbonatos, fosfatos y sulfatos cálcicos liberan calcio, el cual puede estar sometido a lixiviación por lavado de lluvia o exceso de riego, absorbido por microorganismos, adsorbido por el complejo coloidal o reprecipitado, típico de zonas áridas. El calcio orgánico se encuentra formando parte de la materia orgánica, ácidos húmicos y fosfóricos, en los humatos y fosfohumatos cálcicos (Navarro y Navarro, 2000).

Para que exista un equilibrio dinámico entre las formas cambiables y en disolución, debe ocurrir previamente una saturación de calcio en la arcilla predominante como coloide del suelo, como también el tipo de arcilla definirá la capacidad de cambio y posterior posible pérdida por lixiviación y erosión según Buckman y Brady (1977) y Bohn *et al.* (1993).

Los valores de calcio promedio en las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos de extracción se indican en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Calcio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4 ^(*)	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	----- mmol _c L ⁻¹ -----							
P1	7,90 (±1,83) a	3,98 (±0,85) a	5,83 (±0,38) a	3,42 (±0,37) a	5,43 (±0,21) a	2,37 (±2,28) a	5,43 (±0,23) b	4,80 (±0,75) b
P2	7,07 (±2,10) a	3,63 (±0,85) a	5,47 (±0,90) a	3,05 (±0,53) a	5,40 (±0,60) a	2,58 (±0,78) a	6,80 (±1,05) b	4,02 (±0,81) b
P3	7,70 (±0,85) a	1,98 (±0,58) a	5,60 (±0,79) a	2,48 (±0,58) a	6,47 (±1,53) a	2,22 (±0,50) a	19,20 (±1,56) a	13,97 (±7,75) a
Promedios	A 7,55	B 3,20	A 5,63	B 2,98	A 4,1	B 2,39	A 10,47	A 7,59

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para calcio señaló que respecto a las calicatas no existió interacción entre métodos y profundidades.

En cuanto a métodos para las Calicatas 1, 2 y 3, no hubo diferencias estadísticamente significativas; y tampoco entre profundidades. De manera que a pesar de haber diferencias en sus valores más bajos en el método 1:2, estos no son significativamente distintos de los valores mayores obtenidos por el método saturado (Cuadro 8). En términos de significado agronómico, para el método saturado todos los valores observados correspondieron a muy bajos, por ser menores a $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo para el método del extracto 1:2 todos los valores correspondieron a valores óptimos, al estar entre el rango de 2 y $8 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

El ANDEVA para calcio señaló para la Calicata 4 que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre métodos, esto permitió corroborar parcialmente la hipótesis de esta investigación, es decir, que el método holandés (método 1:2) entrega valores similares en calcio al del extracto de saturación de suelo (Cuadro 8). Sólo existió diferencia significativa en la estrata más profunda (P3) en relación a las estratas superficial y media (P1 y P2). En términos de significado agronómico, para el método saturado las dos estratas (P1 y P2) mostraron valores muy bajos, por ser menores a $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ y la estrata más profunda (P3) mostró valor normal, al estar en el rango de 15 a $20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo, para el método del extracto 1:2 los valores para P1 y P2 fueron óptimos, por estar dentro de rango entre 2,0 y $8,0 \text{ mmol}_c$ y para P3 fue alto, por ser mayor a $8,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII). El mayor valor de P3 mostrado en ambos métodos en la Calicata 4 coincide con los mayores valores de salinidad, también con la misma diferencia estadísticamente significativa respecto a las estratas P1 y P2 (Cuadro 3). La mayor concentración de calcio mostrada en el método del extracto 1:2 en P3, coincide con el menor valor de pH, que también mostró diferencia estadísticamente significativa respecto a P1 y P2 (Cuadro 4). La mayor solubilidad del calcio se explica por el menor pH del suelo, lo que tiene relación con el producto de solubilidad representado como K_{ps} , y que frente a la presencia de sales insolubles (sólido), permitió que el principal factor para modificar el equilibrio químico hacia la formación acuosa de iones fuese el pH con mayor concentración de protones, generando un medio ácido (Bohn *et al.*, 1993).

Por otro lado, los mayores valores de calcio en P3 (Calicata 4) señalaron posible lixiviación de nutrientes desde las estratas superficiales a las más profundas, como también una posible acumulación de calcio por falta de movilidad de este elemento en esta última estrata, con una menor presencia de raíces absorbiendo el elemento según Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003).

Respecto del método saturado, se observaron tendencias similares en las cuatro calicatas, donde los valores de calcio fueron superiores a los del extracto 1:2, coincidiendo esto con lo visto por Sonneveld *et al.* (1990).

Los altos valores de calcio intercambiables mostrados en el Cuadro 2 para las tres profundidades en la Calicata 2, se contrarrestan con los contenidos solubles muy bajos y óptimos de los métodos del extracto saturado y holandés, respectivamente (Cuadro 8). Este comportamiento estaría explicado por lo planteado por Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003), que señalan que el elemento intercambiable puede quedar retenido en el complejo de intercambio sin que esté disponible en forma soluble para la planta.

Correlación entre valores de calcio a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre métodos (Figura 9).

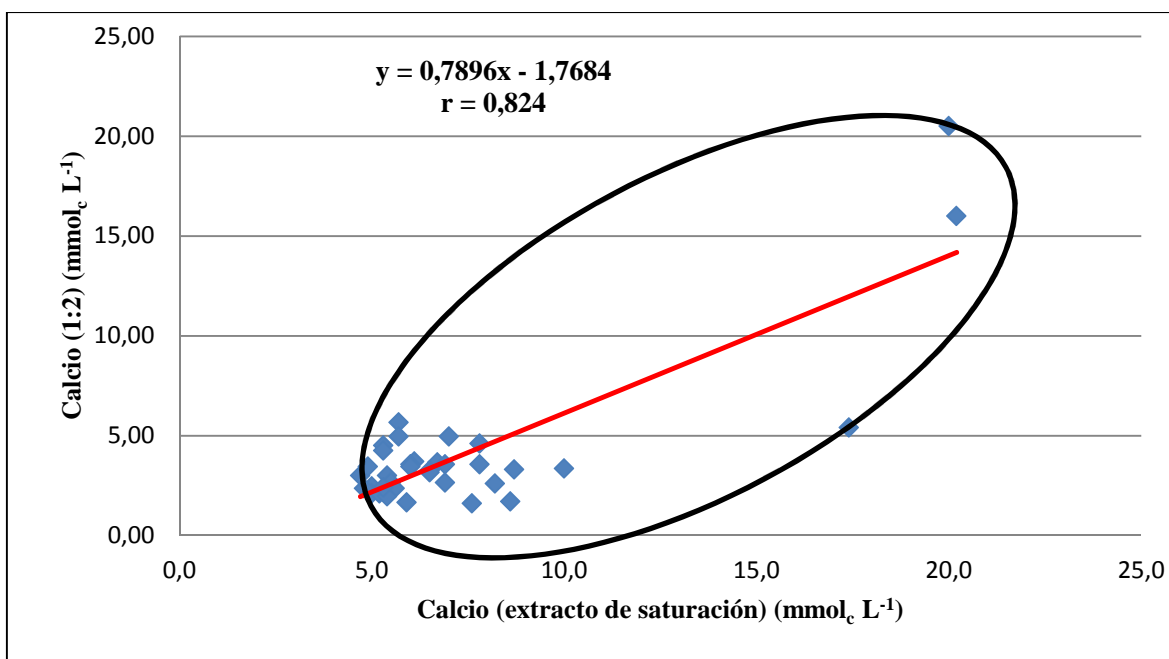


Figura 9. Relación entre el calcio medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en las calicatas 1, 2 y 3, exceptuando la Calicata 4, el valor de coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,824$; $p < 0,0001$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el Ca obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente (representada por la elipse), con el Ca logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

Los valores extremos observados en la Figura 9 representan niveles de calcio asociados a la Calicata 4, cuyos valores usualmente representaron en ambos métodos mayores magnitudes en comparación a las otras calicatas (1, 2 y 3).

El estudio de Sonneveld y Van Den Ende (1971) no consideró la medición del nutriente calcio, el cual solo lo evaluó en posteriores trabajos (Sonneveld et al., 1990), sin embargo, bajo otras condiciones de experimentación, donde se relacionaron los extractos saturado y 1:2 por separado, comparándolos con un extracto de solución suelo obtenido post aplicación de una presión de extracción de 20 MPa, se encontraron coeficientes de correlaciones significativos ($r = 0,946$ y $r = 0,811$ respectivamente).

Con la comparación del método 1:2 y extracto saturado, que permite contrastar la variable química de Ca, la prueba de χ^2 demostró que las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el Ca no son comparables los métodos, imponiendo un 30% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que son comparables ambos métodos en calcio en 3 de las 12 comparaciones realizadas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad menor del 70%, y aunque una asociatividad positiva con un alto coeficiente de correlación, no es posible predecir el comportamiento del valor de calcio del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la correlación y regresión (predicción) por su bajo nivel de confiabilidad. En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal no sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Magnesio

El magnesio es un macronutriente secundario al igual que el calcio, siendo su función relevante por ser constituyente en la molécula del pigmento clorofila, el cual es esencial para que ocurra la fotosíntesis. Este nutriente tiene directa relación con productividad en uva de mesa, junto con mejorar la nutrición de la baya (calidad) al reducir la incidencia en la formación de putrescina, compuesto poliamínico responsable de generar baya acuosa (water berry) y palo negro (bunch stem necrosis) en parronales de uva de mesa de alto rendimiento en Chile (Palma, 2005; Ruiz y Sadzawka, 2005). Además interviene en la síntesis de xantofilas, carotenos y lípidos, contribuye a la turgencia de la célula, regula el pH celular y el balance iónico (Razeto, 2011; Hawkesford *et al.*, 2012). También participa como un agente activador enzimático en el metabolismo de los hidratos de carbono, proteínas y síntesis de los ácidos nucleicos según Navarro y Navarro (2000). Es un nutriente bastante móvil en el floema según Razeto (1993), de manera que la movilidad por el tejido xilemático es a través de la forma iónica.

Este nutriente esencial según Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012) es absorbido preferentemente como ion Mg^{+2} .

Finalmente, como existe antagonismo del magnesio respecto a calcio y potasio, fue necesario determinar la relación Ca/Mg y K/Mg para detectar posibles manifestaciones de carencias de este elemento por desbalance mostrados en el análisis de fertilidad del suelo, encontrándose valores normales en ambas relaciones según Tejeda *et al.* (2001) e INIA CHILE (2008b) (Cuadro 2) y Apéndice VIII).

Los valores promedio de magnesio en las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos de extracción se indican en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Magnesio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según Calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4 ^(*)	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	----- mmol _c L ⁻¹ -----							
P1	1,64 (±0,70) a	0,59 (±0,38) a	1,00 (±0,00) a	0,70 (±0,05) a	1,00 (±0,00) a	0,64 (±0,13) a	A 1,03 (±0,09) b	A 0,42 (±0,22) b
P2	1,33 (±0,36) a	0,31 (±0,24) a	0,89 (±0,10) a	0,64 (±0,13) a	0,94 (±0,10) a	0,47 (±0,29) a	A 1,22 (±0,38) b	A 0,64 (±0,13) b
P3	1,25 (±0,17) a	0,25 (±0,14) a	1,03 (±0,05) a	0,58 (±0,09) a	1,14 (±0,24) a	0,56 (±0,17) a	A 5,58 (±0,74) a	B 2,78 (±1,22) a
Promedios	A 1,40	B 0,38	A 0,97	B 0,64	A 1,03	B 0,56	2,61	1,28

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para magnesio señaló que respecto a las calicatas 1, 2 y 3 no existió interacción entre métodos y profundidades, siendo sólo estadísticamente significativo el factor método de extracción. De manera que, a pesar de obtenerse valores más bajos en el método 1:2, éstos no son significativamente distintos de los mayores valores obtenidos por el método saturado (Cuadro 9). En términos de significado agronómico, para el método saturado todos los valores observados de magnesio correspondieron a muy bajos, por ser menores a $7 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo para el método del extracto 1:2 todos los valores vistos correspondieron a valores bajos, por ser menores de $1,4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para magnesio señaló que respecto a la Calicata 4, existió interacción entre método y profundidad. También existió diferencia significativa en el método, en al menos una profundidad (P3). En las profundidades P1 y P2 no existieron diferencias estadísticamente significativas entre métodos ni tampoco entre profundidades, lo que permitió corroborar parcialmente la hipótesis de esta investigación, es decir, que el método holandés (método 1:2) entrega valores similares en magnesio al del extracto de saturación de suelo (Cuadro 9). En términos de significado agronómico, para el método saturado las tres estratas (P1, P2 y P3) mostraron valores muy bajos de magnesio por ser menores a $7 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); sin embargo para el método del extracto 1:2 los valores vistos para P1 y P2 fueron bajos, por ser valores menores a $1,4 \text{ mmol}_c$, en tanto para P3 se obtuvieron valores óptimos, por ser un valor entre rangos de $1,4$ a $4,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII). Este mayor valor de P3 mostrado en ambos métodos en la Calicata 4 y que es diferente estadísticamente respecto a las profundidades superficial y media (P1 y P2), coincide con los mayores valores de salinidad, también con diferencia estadísticamente significativa (Cuadro 3). La determinación de estos mayores y significativos valores de magnesio en P3 en Calicata 4 se podrían explicar, al igual que las concentraciones de calcio, posiblemente en una lixiviación de nutrientes, inmovilidad y baja absorción por raíces según Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003). También, la mayor concentración de magnesio mostrada en el método del extracto 1:2 en P3, coincide con el menor valor de pH, que también mostró diferencia estadísticamente significativa respecto a P1 y P2 (Cuadro 4), de manera que al igual que el calcio, por este menor pH del suelo, se podría lograr una mayor solubilidad del elemento debido al producto de solubilidad (Kps) según (Bohn *et al.*, 1993).

Respecto del método saturado, se observó una tendencia similar en las cuatro calicatas, donde los valores de magnesio fueron superiores a los del extracto 1:2, coincidiendo esto con lo visto por Sonneveld and Van Den Ende (1971) y Sonneveld *et al.* (1990).

Los muy altos valores de magnesio intercambiables mostrados en el Cuadro 2 para las tres profundidades en la Calicata 2, se contrarrestan con los contenidos solubles muy bajos y bajos en los métodos extracto saturado y holandés, respectivamente (Cuadro 9). Este comportamiento de la concentración de magnesio es similar al calcio y estaría posiblemente explicado según lo planteado por Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003) en dicha sección.

Correlación entre la determinación de magnesio a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre métodos (Figura 10).

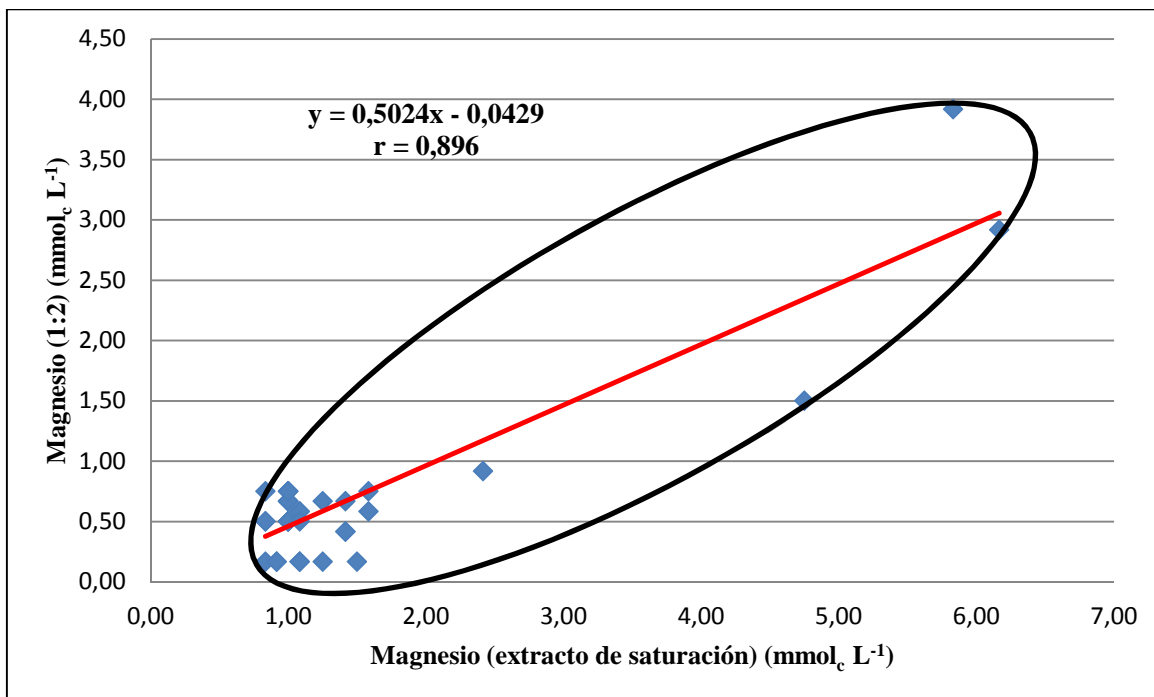


Figura 10. Relación entre el magnesio medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en todas las calicatas y profundidades, con excepción de profundidad P1 y P2 de Calicata 4, el valor de coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,896$; $p < 0,0001$) rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el magnesio obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente (representada por la elipse), con el magnesio logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

Los valores extremos observados en la Figura 10, representan niveles de magnesio asociados a la Calicata 4, cuyos valores usualmente representaron en ambos métodos mayores magnitudes en comparación a las otras calicatas (1, 2 y 3).

El resultado de coeficiente de correlación encontrado para el magnesio por Sonneveld y Van Den Ende (1971) fue mayor ($r = 0,960$) respecto a esta investigación.

Con la finalidad de establecer una comparación del método 1:2 y extracto saturado, que permitiera contrastar la variable química de magnesio, la prueba de χ^2 demostró que las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el magnesio no son

comparables los métodos, imponiendo solo un 45% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que son comparables ambos métodos en magnesio en Dos de las 12 comparaciones realizadas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad menor del 70%, y aunque una asociatividad positiva con un alto coeficiente de correlación, no es posible predecir el comportamiento del valor de magnesio del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la correlación y regresión (predicción) por su bajo nivel de confiabilidad. En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal no sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Sodio

Este elemento es por excelencia el sustituto del potasio en la planta. La función específica del sodio en los vegetales es poco conocida, sin embargo se ha señalado una acción como activador de enzima de carboxilación en la fotosíntesis (Navarro y Navarro, 2000), específicamente en la enzima fosfoenolpirúvica (PEP) (Broadley *et al.*, 2012). En las plantas regula procesos respiratorios y glucolíticos, incremento de la actividad de la enzima nitrato reductasa y la acumulación de nitritos, lo cuál promueve el origen de efectos tóxicos y una baja asimilación del nitrógeno (Buckman y Brady, 1977). También durante períodos de sequía retrasa el marchitamiento de la planta, manteniendo el potencial osmótico celular, y ejerce un control sobre el daño por heladas al hacer descender el punto de congelación de la savia; por último, entrega mayor sabor y aroma en hortalizas y en praderas tiene relación con mejorar la calidad de ésta al obtener incrementos en la palatabilidad. El sodio dentro de la planta es muy móvil (Razeto, 2011).

Este nutriente según Navarro y Navarro (2000); Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012) es absorbido como ion Na^+ .

El sodio como elemento soluble es lixiviable, sin embargo, si no existe un buen drenaje, éste se acumula como tal en el perfil de suelo, provocando efectos sobre la salinidad del suelo. El resultado es la defloculación de los agregados del suelo, que conlleva a tener graves problemas de infiltración, la planta presenta mayor dificultad para absorber agua por las raíces (aumenta el potencial negativo del agua en el suelo) y para el caso puntual de la uva de mesa se presentan problemas de toxicidad (síntomas similares a cloruro como quemazón marginal y pérdida de área fotosintéticamente activa) cuando se detectan niveles de sodio sobre 0,5% P/V (5000 mg L^{-1}) en la lámina al realizar el análisis de pecíolo durante floración y lámina durante pinta según Christensen *et al.* (1978); Valdés (1998) y Razeto (2011).

Como se detalló en el análisis del agua de riego (Apéndice VII), conocer el contenido de sodio y su posible toxicidad, definirá las precauciones que se deben tener en el manejo del tiempo y frecuencia de riego junto con las propiedades físicas del suelo, especialmente de capacidad de drenaje o macroporosidad en uva de mesa (Sellés *et al.*, 2012b). Precisamente

la recuperación de suelos afectados por alto contenido de sodio es mediante la aplicación de agua suficiente para lixiviar el exceso de sales a las partes más profundas, por esta razón hay que conocer la calidad del agua de riego antes de aplicarla (Hanson *et al.* 2006).

Los valores de sodio promedio en las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos de extracción se indican en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Sodio promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4	
	Extracto Saturado ^{2/}	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	----- mmol _c L ⁻¹ -----							
P1	3,41 (±2,25) a	2,03 (±0,89) a	1,87 (±0,31) a	1,65 (±0,42) a	2,10 (±0,50) a	1,81 (±0,22) a	2,03 (±0,10) b	1,68 (±0,16) b
P2	2,44 (±0,38) a	1,70 (±0,18) a	1,96 (±0,16) a	1,83 (±0,31) a	2,07 (±0,20) a	1,77 (±0,23) a	2,70 (±0,65) b	2,26 (±0,27) b
P3	2,80 (±0,29) a	1,60 (±0,09) a	2,04 (±0,16) a	1,96 (±0,26) a	2,38 (±0,15) a	1,93 (±0,16) a	5,94 (±0,39) a	4,23 (±1,05) a
Promedios	A 2,80 ^(*)	B 1,77 ^(*)	A 1,95	A 1,81	A 2,18	B 1,83	A 3,55	B 2,72

(*) Si se acepta significancia $\alpha = 0,01$ no existe interacción significativa entre profundidad y método.

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) los valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

^{2/} Para métodos los valores promedios con letras mayúsculas iguales a la izquierda en la misma fila indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey ($p > 0,05$).

El análisis de dos vías (ANDEVA) para sodio señaló que respecto a las cuatro calicatas, no existió interacción entre métodos y profundidad.

En cuanto a métodos de extracción, en las calicatas 1 y 3 se observaron diferencias estadísticamente significativas; sin embargo no entre profundidades. De manera que a pesar de haber diferencias en sus valores más bajos en el método 1:2, estos no son significativamente distintos de los mayores valores obtenidos por el método saturado (Cuadro 10).

Respecto a la Calicata 2, no existieron diferencias estadísticamente significativas entre métodos y profundidad, esto permitió corroborar la hipótesis de esta investigación, es decir, que el método holandés (método 1:2) entrega valores similares de sodio al del extracto de saturación de suelo.

Del punto de vista agronómico, para las calicatas 1, 2 y 3 para el método del extracto saturado, las tres profundidades presentaron valores bajos, por ser menores de $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); Por su parte, para el método del extracto 1:2 todos los valores correspondieron a valores sin problemas de toxicidad, al ser menores de $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

Un comportamiento diferente a lo anterior fue lo observado en la Calicata 4, donde el análisis de dos vías (ANDEVA) para sodio señaló que existieron diferencias estadísticamente significativas en el método en las tres profundidades (P1, P2 y P3). Respecto al factor profundidad, sólo existió diferencia significativa en P3 respecto a P1 y P2, ya que estas últimas profundidades no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí (Cuadro 10). En términos de significado agronómico, para el método del extracto saturado, los valores de P1, P2 y P3 fueron bajos, por ser valores menores que la concentración de $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ o estar dentro del rango entre 4 y $8 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII); para el método del extracto 1:2 los valores vistos para P1 y P2 fueron bajos, por ser valores menores a $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ y para P3 el valor es alto o tóxico, por ser mayor a $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII). Esta mayor concentración de sodio en la Calicata 4 y profundidad P3 para ambos métodos y que es diferente estadísticamente respecto a las profundidades superficial (P1) y media (P2), coincide con los mayores valores de salinidad, calcio y magnesio, con un comportamiento estadístico similar para P3. La determinación de estos mayores y significativos valores de sodio en P3 en Calicata 4, se podrían explicar, al igual que los resultados para las concentraciones de calcio y magnesio, en una posible lixiviación de nutrientes, inmovilidad y baja absorción por raíces según Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003). También, la mayor concentración de sodio mostrada en el método del extracto 1:2 en P3, coincide con el menor valor de pH, que también mostró diferencia estadísticamente significativa respecto a P1 y P2 (Cuadro 4), de manera que al igual que el calcio y magnesio, por este menor pH del suelo, se podría lograr mayor solubilidad del elemento debido al producto de solubilidad (Kps) según (Bohn *et al.*, 1993).

Respecto del método del extracto saturado, se observaron tendencias similares en las cuatro calicatas, donde los valores de sodio son superiores a los del extracto 1:2, coincidiendo esto con lo visto por Sonneveld *et al.* (1990).

Los valores muy altos de sodio intercambiables mostrados en el Cuadro 2 para las tres profundidades en Calicata 2, se contrarrestan con los contenidos solubles bajos y óptimos de los métodos extracto saturado y holandés, respectivamente (Cuadro 10). Este comportamiento de la concentración de sodio soluble es similar al calcio y magnesio y podría ser explicado según lo planteado por Bohn *et al.* (1993) y Cadahía (2003) en dichas secciones.

Correlación entre la determinación de sodio a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología señalada por Steel y Torrie (1980) y Mendenhall *et al.* (2009) se encontró una correlación (asociatividad) positiva entre métodos (Figura 11).

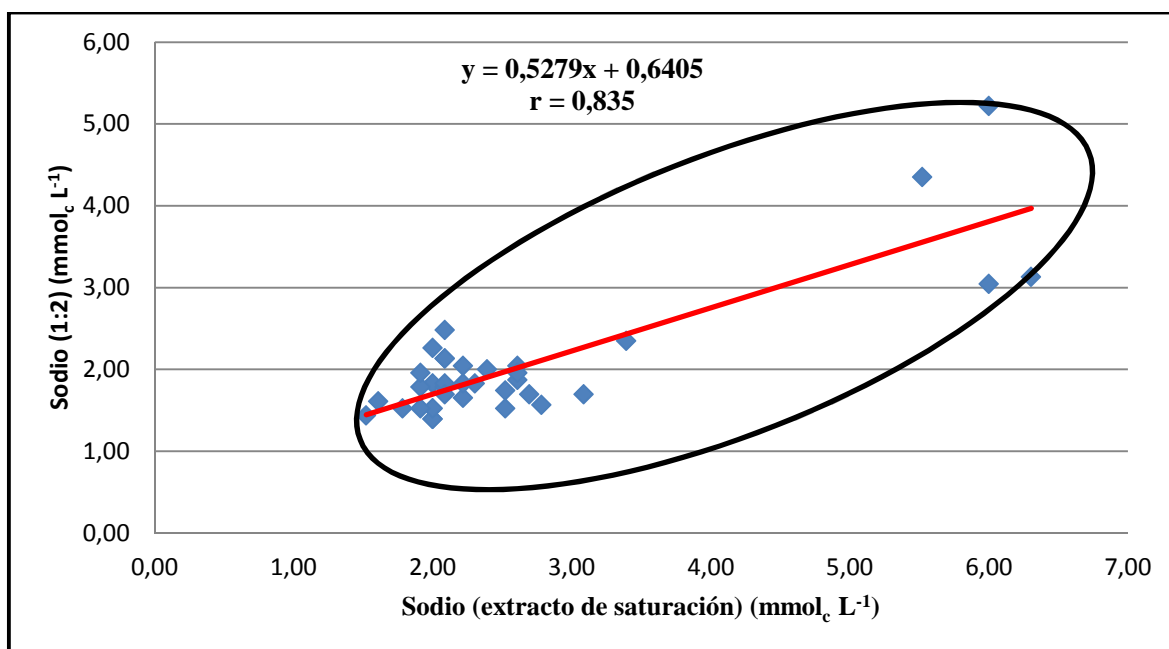


Figura 11. Relación entre el sodio medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

A pesar de las diferencias estadísticamente significativas entre métodos en las calicatas 1, 3 y 4, el valor de coeficiente de correlación lineal de Pearson ($r = 0,835$; $p < 0,0001$), rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el sodio obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente (representada por la elipse), con el sodio logrado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

Valores extremos observados en la Figura 11, representan niveles de sodio asociados a la Calicata 4, cuyos valores usualmente representaron en ambos métodos mayores magnitudes en comparación a las otras calicatas (1, 2 y 3).

El estudio de Sonneveld y Van Den Ende (1971) no consideró la medición del nutriente sodio, el cual lo evaluó en posteriores trabajos (Sonneveld et al., 1990). Bajo otras condiciones de experimentación, donde se relacionan los métodos de extracto saturado y 1:2 por separado, comparándolos con un extracto de solución suelo obtenido post aplicación de una presión de extracción de 20 MPa, se encontraron coeficientes de correlación significativos ($r = 0,978$ y $r = 0,929$ respectivamente).

Con la finalidad de establecer una comparación del método 1:2 y extracto saturado que permita contrastar la variable química de sodio, la prueba de χ^2 demostró si las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el sodio no son comparables los métodos, imponiendo solo un 54,5% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que para sodio son comparables ambos métodos en sodio en tres de las 12 comparaciones realizadas. Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad menor del 70%, y aunque presentó una asociatividad positiva con un alto coeficiente de correlación, no es posible predecir el comportamiento del valor de sodio del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando la correlación y regresión (predicción) por su bajo nivel de confiabilidad. En base a los resultados de ambas pruebas, el modelo de predicción lineal no sería el adecuado para explicar la relación entre ambos métodos.

Cloruro

Si bien el cloruro (Cl⁻) es aceptado como un elemento esencial (Palma, 2006), el exceso de cloruro (Cl⁻) en el agua de riego produce toxicidad, la que se manifiesta junto con la de sodio a través de quemaduras del follaje; esto precisamente sucede en zonas del Valle del Río Copiapó en Chile, donde la presencia de cloruro puede llevar un huerto a un menor rendimiento y tamaño de la baya (Valdés, 1998; Razeto, 2011). Las funciones señaladas por Navarro y Navarro (2000) y Hawkesford *et al.* (2012) corresponden a ser un cofactor esencial en la fotosíntesis, situando su lugar de actuación junto al Mn⁺² en la fotólisis del agua, a partir de la cual el fotosistema PSI II se reduce por captura de electrones liberados, junto con participar en la abertura de los estomas a través de las células de guarda; además favorece la turgencia al ser neutralizador de cationes. Es un nutriente de alta movilidad en la planta según Razeto (2011).

Este nutriente esencial según Navarro y Navarro (2000); Razeto (2011) y Hawkesford *et al.* (2012) es absorbido como ion Cl⁻ no sólo por vía radicular, sino también por sus partes aéreas. Sus requerimientos fisiológicos son bajos, del orden de 5 mg L⁻¹, hasta 20 mg L⁻¹ o más en plantas halófilas. Tiene antagonismo con el nitrato en su absorción dentro de la

planta (Cadaña y Lucena, 2005; Palma, 2006), como también con el sulfato (Navarro y Navarro, 2000).

El cloruro es el principal constituyente de un suelo salino, expresado a través de compuestos tales como cloruro sódico y en menor proporción cloruro cálcico y cloruro magnésico. Su dinámica en el suelo es simple y la mayoría de los suelos tienen suficiente cloruro para satisfacer la demanda de la planta. Proceden de la descomposición de la roca madre, de la degradación de restos orgánicos y aportes en las aguas de lluvias sobre todo en zonas costeras, donde el viento eleva a la atmósfera el agua de mar cargada de cloruros.

Un contenido de cloruro en el extracto saturado de suelo de 10 a 25 mmol_c L⁻¹ produce daño en algunas variedades de vides (Hanson *et al.*, 2006).

Los factores que contribuyen a un exceso de cloruros serían según Ayers (1983), Palma (2006) y Razeto (1993; 2011) tener un agua de riego sobre 4 mmol_c L⁻¹ de cloruro, salinidad total alta del suelo, manejo deficiente del riego y mala permeabilidad del agua por una limitante del suelo (estratas impermeables).

La toxicidad de cloruros a menudo aparece asociada a altos niveles de sodio (Na), pudiendo venir estos niveles altos en el agua de riego (Cook y Wheeler, 1983; Razeto, 1993).

Los valores promedio de cloruro en las diferentes profundidades y calicatas para ambos métodos se indican en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Cloruro promedio y desviación estándar en cada profundidad para ambos métodos de extracción según calicata.

Profundidad ^{1/} (cm)	Calicata 1		Calicata 2		Calicata 3		Calicata 4	
	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V) ^{2/}	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)	Extracto Saturado	Extracto 1:2 (V/V)
	----- mmol _c L ⁻¹ -----							
P1	3,70 (±2,17) a	1,51 a ^{2/}	1,74 (±0,11) a	0,85 a	1,79 (±0,10) a	0,85 b	1,79 (±0,10) b	0,85 b
P2	2,93 (±0,81) a	1,41 a	1,96 (±0,21) a	1,41 a	1,86 (±0,24) a	1,13 ab	2,39 (±0,40) b	1,79 ab
P3	3,27 (±0,43) a	0,74 a	2,03 (±0,05) a	0,85 a	2,26 (±0,30) a	1,69 a	4,60 (±0,16) a	2,44 a
Promedios	3,3	1,22	1,91	1,03	1,97	1,22	2,92	1,69

^{1/} Para profundidad (P1, P2 y P3) valores con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de Tukey (p>0,05%).

^{2/} En el método 1:2, se consideró para el test Kruskal – Wallis una significancia de probabilidad, $p < 0,1$, cifra normalmente aceptada para un análisis de estadística no paramétrica.

El análisis de varianza de una vía para el cloruro solo fue realizado para el método saturado, debido a que las mediciones realizadas para el método 1:2 se efectuaron con un equipo de medición de cloruro que entrega los valores por rangos asociados a una escala ordinal. Esto determinó que el análisis de comparación entre métodos no fuese posible de establecer debido a que no se cumplen los supuestos de normalidad en el método 1:2. Para establecer comparaciones entre profundidades en este método para cada calicata fue necesario efectuar el test no paramétrico de una vía de Kruskal – Wallis (ver Apéndice XII), cuyos resultados se presentan en Cuadro 11.

En consecuencia, el análisis de una vía (ANDEVA) para cloruro señaló que en el método saturado en las calicatas 1, 2 y 3 no existieron diferencias estadísticamente significativas entre profundidades. Agronómicamente, para el método saturado las tres profundidades en las tres calicatas presentaron valores muy bajos, por ser menores de $5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII). Para la Calicata 4 soló existió diferencia significativa entre la profundidad P3 respecto a P1 y P2, no existiendo diferencias significativas entre P1 y P2 (Cuadro 11). Agronómicamente, para el método saturado las tres profundidades en la Calicata 4 presentaron valores muy bajos, por ser menores de $5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según INIA CHILE (2008a) (Anexo XII).

Por su parte, para el método del extracto 1:2 en las cuatro calicatas todos los valores vistos correspondieron a valores sin problemas, al ser menores de $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ según Van den Bos *et al.* (1999) (Anexo XIII).

Respecto del método saturado, se observó una tendencia similar en las cuatro calicatas, donde los valores de cloruro son superiores a los del extracto 1:2, coincidiendo esto con lo visto por Sonneveld and Van Den Ende (1971) y Sonneveld *et al.* (1990). Lo anterior es debido a que los mayores efectos de dilución ocurren con el cloruro y nitrato, de manera que para estos nutrientes esenciales la concentración está relacionada proporcionalmente con la razón agua/suelo porque los iones están totalmente disueltos en la solución de suelo.

El mayor contenido de cloruro en la Calicata 4, profundidad P3 podría ser explicado por el mayor contenido de agua (contenido gravimétrico y volumétrico) detectado en el frente de avance del bulbo de mojamiento bajo el emisor, cuyo comportamiento se detallará más adelante (Figuras 13 y 14). Estos altos valores en la estrata (P3) en ambos métodos coinciden con los altos valores en la misma profundidad para las variables de calcio, magnesio, sodio y en consecuencia en la salinidad, mostrando diferencia estadísticamente significativa respecto a las estratas superficial (P1) y central (P2) en todas estas determinaciones químicas.

Correlación de rangos de cloruro observados a través del método 1:2 y por el método del extracto saturado. Basado en la metodología no paramétrica del coeficiente de Spearman's para correlación de rangos, señalada por Steel y Torrie (1980) se encontró una correlación de rangos positiva entre métodos (Figura 12).

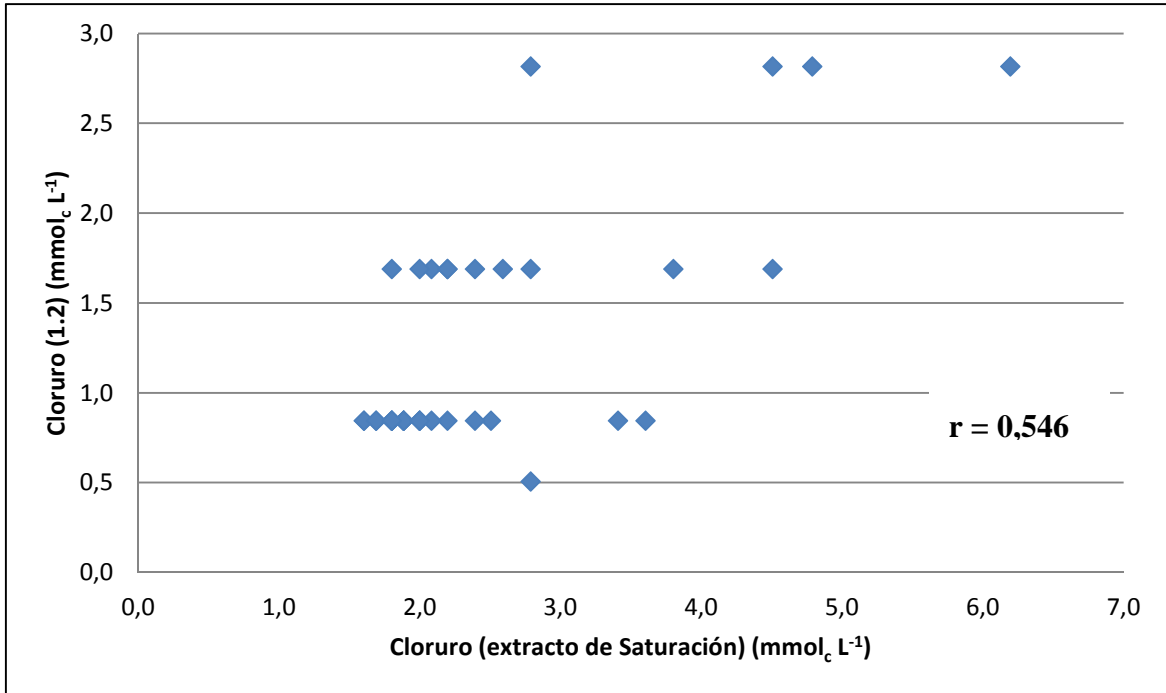


Figura 12. Relación entre el cloruro medido en los extractos 1:2 y los extractos saturados en las cuatro calicatas y a tres profundidades.

El valor de coeficiente de correlación de Spearman's ($r = 0,546$; $p < 0,0005$) para prueba no paramétrica, rechazó la prueba de hipótesis que $\rho = 0$, demostrando que existía asociatividad estadísticamente significativa entre los métodos, por lo tanto el cloruro obtenido con el nuevo método de análisis propuesto 1:2 se asocia positivamente con el cloruro determinado a través del método tradicional del extracto saturado (Apéndice X).

El resultado del coeficiente de correlación encontrado para el cloruro por Sonneveld y Van Den Ende (1971) fue mayor ($r = 0,976$) respecto a esta investigación.

Con la finalidad de establecer una comparación del método 1:2 y extracto saturado que permita contrastar la variable química de cloruro, la prueba de χ^2 demostró si las discrepancias entre los métodos eran confiables, resultando que para el cloruro no son similares los métodos, imponiendo un 53,5% de confiabilidad en dicha afirmación (Apéndice XI).

En resumen, el ANDEVA demostró que no son comparables ambos métodos en cloruro en ninguna de las cuatro calicatas: Por otro lado, dado que el test de validación del modelo propuesto señaló una confiabilidad menor del 70%, aunque una asociatividad positiva con un bajo coeficiente de correlación, por lo que no es posible predecir el comportamiento del valor de cloruro del método del extracto de saturación a partir del método 1:2 utilizando ambas metodologías estadísticas, como son corrección por sesgo utilizada en la prueba de Chi cuadrado y regresión (predicción).

Comprobación de suma de cationes

Basado en la metodología señalada por Richards (1954, citado por USSSL STAFF, 1954); Bohn *et al.* (1993); Bohn *et al.* (2001); Hanson *et al.*, (2006) y Razeto (2011), se determinó para el método saturado y método 1:2 la relación entre la suma de cationes de K^+ , Na^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} ($mmol_c L^{-1}$), y la CE ($dS m^{-1}$), mostrando un cambio de la pendiente positiva para ambos métodos, lográndose un coeficiente de correlación de Pearson “r” de 0,998 y 0,979 respectivamente (ver figuras en Apéndice XIII). Además, para el método del extracto de saturación, se cumple la relación; Suma de cationes ($mmol_c L^{-1}$) = 10 x CE ($dS m^{-1}$) encontrada por USSSL STAFF (1954).

Propiedades físicas e hídricas del suelo

Con la finalidad de caracterizar las condiciones físicas e hídricas del suelo en estudio, se realizaron varias mediciones de variables físicas que representan al suelo, tales como distribución del tamaño de las partículas, textura, densidad aparente, porosidad total (espacio poroso), porcentaje de agua útil, capacidad de drenaje, número poroso, contenido gravimétrico y volumétrico de agua de suelo.

Distribución del tamaño de partículas

El Cuadro 12 muestra la granulometría de los perfiles de suelo investigados en las cuatro calicatas del cuartel 6, Área Metropolitana (datos analíticos en Apéndice XIV).

Cuadro 12. Distribución porcentual del tamaño de partículas para las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.

	Profundidad (cm)	%			
		Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
Arcilla	P1	22,0	36,8	32,9	34,4
	P2	21,0	32,8	37,3	29,9
	P3	9,6	27,5	32,7	18,3
Limo	P1	35,9	36,3	33,8	35,9
	P2	22,4	36,3	29,9	26,0
	P3	14,4	29,0	30,8	30,7
Arena	P1	42,1	26,9	33,3	29,7
	P2	56,6	30,8	32,7	44,1
	P3	76,0	43,5	36,5	51,0

La distribución del tamaño de partículas da cuenta de la homogeneidad del sitio en que se establecieron las mediciones, ya que los contenidos de arcilla, limo y arena son similares en profundidad, a excepción en la estrata P3 que da cuenta de una diferencia genética del suelo.

Las clases texturales en los perfiles son predominantemente franco arcillosa (FA) existiendo algunas variaciones (Cuadro 13).

Cuadro 13. Clases texturales de las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.

Profundidad (cm)	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
P1	F ^{1/}	FA	FA	FA
P2	FAa	FA	FA	FAa
P3	Fa	FA	FA	F

^{1/}F: Franca; FA: Franco arcillosa; FAa: Franco arcillo arenosa; Fa: Franco arenosa.

La relación encontrada entre la retención de agua y el contenido porcentual de arcilla y arena, mostró un cambio de la pendiente positiva y negativa respectivamente. Es decir, con un mayor contenido de arcilla se incrementa la humedad aprovechable; caso contrario ocurre cuando se trató de arena (Apéndice XV).

El análisis granulométrico y caracterización de las clases texturales para cada calicata mostró como resultado que el suelo es bastante homogéneo y de acuerdo a lo indicado por CIREN (1996) el suelo podría corresponder a una variación de la Serie Hospital, ya que difiere en cuanto a secuencia del perfil y clase textural (Anexo I).

Densidad aparente

El Cuadro 14 presenta los valores de densidad aparente (Da) promedio para los horizontes de cada calicata estudiada.

Cuadro 14. Densidad aparente promedio y desviación estándar de las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.

Profundidad (cm)	(Mg m ⁻³)			
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
P1	1,23 (±0,07) b	1,30 (±0,08) a	1,28 (±0,05) a	1,32 (±0,01) b
P2	1,33 (±0,09) b	1,43 (±0,13) a	1,40 (±0,04) a	1,47 (±0,08) a
P3	1,59 (±0,09) a	1,41 (±0,02) a	1,35 (±0,03) a	1,51 (±0,03) a

Valores promedios con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente, según la prueba de Tukey (p>0,05%).

De los resultados mostrados, es interesante señalar que a pesar de los diferentes contenidos de materia orgánica en P1, P2 y P3 encontrados en el perfil modal, (Cuadro 1), no se aprecia ningún efecto de ésta sobre la densidad aparente, al no existir diferencias significativas entre P1 y P2 en la Calicata 1, como tampoco en las calicatas 2 y 3; solo se aprecia en la Calicata 4 un efecto significativo del contenido mayor de materia orgánica en la estrata superficial P1, con menor densidad aparente y con diferencias estadísticamente

significativas respecto a las estratas P2 y P3. Los resultados dan cuenta que la Da es una propiedad dinámica que depende, entre otros, de la estructura, el contenido de agua, la mineralogía, la clase textural y manejo del suelo de manera que existen valores típicos esperables de densidad aparente (Da) por el método del cilindro (Sandoval *et al.*, 2012), los cuales al usarlos como un indicador de la compactación del suelo debe ser considerado con precaución, siendo necesario complementarlo con otro tipo de mediciones, tales como la distribución de tamaño de poros, la resistencia a la penetración o la capacidad de flujo de agua o aire, determinaciones que no se realizaron en esta investigación. En consecuencia no se puede caracterizar el grado de compactación que tiene el suelo, y su restricción respecto al desarrollo radical de las plantas; sin embargo los valores mayores encontrados en P3 como 1,59 y 1,51 Mg m⁻³ en Calicatas 2 y 4, respectivamente corresponden al rango observado esperables en suelos con problemas de compactación (1,50 a 1,90 Mg m⁻³), señalados por dichos autores.

Dado que la uva de mesa parece ser un cultivo sensible a altos valores de densidad aparente, Sellés *et al.* (2012a; 2012b) señalan que trabajos realizados en Sudáfrica dan cuenta que la Da ideal para un suelo de textura franco arcillosa (FA) corresponde a un valor igual o menor a 1,4 Mg m⁻³. Dado que los suelos en estudio son en su mayoría de clase textural FA (Cuadro 13) un 63% de los valores medidos de densidad aparente, en las diferentes profundidades y calicatas de este estudio, son superiores a 1,4 Mg m⁻³ (Apéndice XIII).

Los resultados mostrados por Poblete (2011), dan cuenta que la variable de Da es una de las propiedades físicas de suelo más sensibles a las intervenciones antrópicas, esto se evidenció con el espacio poroso (n) (Cuadro 15), ya que esta propiedad es directamente dependiente de la densidad aparente.

Cuadro 15. Porcentaje de porosidad total o espacio poroso para las estratas en cada perfil de las cuatro calicatas.

Profundidad (cm)	%			
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
P1	53,5 b	50,9 a	51,6 a	50,3 a
P2	49,8 a	46,0 a	47,2 a	44,4 b
P3	40,2 b	46,8 a	49,2 a	43,1 b

Valores promedios con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente, según la prueba de Tukey ($p > 0,05\%$).

En general, alrededor de un 50% del volumen de un suelo es espacio poroso, de manera que los mayores valores encontrados en los horizontes superficiales estarían explicados en parte por el mayor contenido de materia orgánica (Cuadro 1) respecto a los horizontes subsuperficiales. Además, las fracciones mayores de arena en P3 detectadas en las calicatas 1 y 4 (Cuadro 15) determinan las menores porosidades totales (Seguel y Benavides, 2011).

Porcentaje de agua útil

El Cuadro 16 muestra los porcentajes de agua útil (PAU), también conocida como humedad aprovechable (HA), que responde a las propiedades granulométricas de cada estrata por calicata, donde se aprecia que a menor contenido de arcilla menor es la retención de agua aprovechable. Estudios en uva de mesa para suelos de textura fina establecieron un valor umbral equivalente de 35% de HA para determinar el porcentaje de área del bulbo húmedo con una condición de humedad adecuada para el desarrollo de la uva de mesa (Sellés *et al.*, 2003). De acuerdo a los valores del Cuadro 17, todas las calicatas cumplen este requisito de no superar este valor umbral de HA (Apéndice XIV).

Cuadro 16. Porcentaje de agua útil o humedad aprovechable para las estratas en cada perfil de las calicatas.

Profundidad (cm)	%			
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
P1	15,9 a	16,4 a	18,9 a	20,0 a
P2	14,2 a	15,9 a	16,4 b	17,6 ab
P3	8,4 b	11,5 a	14,7 c	12,8 b

Valores promedios con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente, según la prueba de Tukey ($p > 0,05\%$).

Capacidad de drenaje

Esta propiedad representa la fracción del volumen de suelo más relevante en lo referente al intercambio gaseoso. El Cuadro 17 muestra en el perfil de cada calicata, las capacidades de drenaje (CD) a capacidad de campo, también llamada capacidad de aire o macroporosidad por Sellés (2006) y Sellés *et al.* (2012a; 2012b).

Cuadro 17. Capacidad porcentual de drenaje a capacidad de campo o macroporosidad para las estratas en cada perfil de las calicatas.

Profundidad (cm)	%			
	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3	Calicata 4
P1	20,0 a	8,6 a	7,5 a	0,7 b
P2	13,7 a	2,5 a	1,2 b	0,0 c
P3	14,9 a	9,1 a	9,0 a	4,7 a

Valores promedios con letras minúsculas iguales a la derecha en la misma columna indican que no hay diferencias estadísticamente, según la prueba de Tukey ($p > 0,05\%$).

Según Dexter (1988, citado por Sellés *et al.*, 2012b) desde el punto de vista del desarrollo radical en uva de mesa, existe un valor límite de capacidad de drenaje (macroporosidad) que fluctúa entre 10 a 15% para permitir una adecuada respiración e intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el suelo y la atmósfera. De acuerdo a los valores del Cuadro 17, sólo en la Calicata 1 se cumple este requisito. Precisamente sólo en esta Calicata destacó P1 con una mayor macroporosidad, que se podría interpretar como

probable efecto del mayor contenido de materia orgánica (4,2%), lo cual explicaría una mejor funcionalidad del horizonte (Baginsky *et al.*, 2010) en relación a las estratas P2 y P3, de bajo contenido de materia orgánica; sin embargo las restantes Calicatas (2, 3 y 4) en la estrata superficial P1, no responden con valores mayores de CD, demostrando que podrían verse afectados por otras propiedades físicas, como resistencia a la penetración, compactación, conductividad hidráulica, distribución de poros de drenaje; sin embargo como estas propiedades no fueron evaluadas en esta investigación, no se puede precisar al respecto. El 83% de los valores medidos de macroporosidad en las diferentes estratas y calicatas presentaron valores inferiores al 15%.

Los valores encontrados de Capacidad de Drenaje (macroporosidad) y PAU se podrían explicar teóricamente por lo planteado por Letey (1985, citado por Sellés *et al.*, 2012b) quien propuso un concepto más integrador para el análisis del significado de los aspectos físicos del suelo, donde definió el rango de humedad aprovechable para las plantas como un rango hídrico no limitante (RHNL), que se ubica entre capacidad de campo y un porcentaje diferente al punto de marchitez permanente, dependiendo de las propiedades físicas del suelo; así, tenemos que en un suelo con baja compactación, bien estructurado y con buen nivel de materia orgánica, el RHNL se ajusta a la definición clásica del concepto agronómico de HA, dado precisamente porque el agua a capacidad de campo bajo estas condiciones se encuentra con baja energía, con una existencia suficiente de poros con aire. Por el contrario, en la medida que aumentan los niveles de compactación y se destruye la estructura del suelo, disminuye la fracción de macroporos y aumenta la cantidad de microporos, esto asociado a que con contenidos de agua a capacidad de campo se pueden presentar problemas de aireación deficiente y/o alta resistencia mecánica cuando este contenido disminuye ligeramente. Es decir, los efectos de resistencia mecánica se detectan mucho antes que el contenido de agua del suelo llegue a PMP.

Dado lo demostrado en parronales por Sellés (2006) quien al incrementar la macroporosidad o CD de un suelo conllevó a aumentar la densidad radical por ende aumentó la productividad, sería necesario mejorar las condiciones de aireación en las calicatas 2, 3 y 4. Se sugiere poner atención en la estrategia del manejo hídrico en el huerto, de manera que una disminución de la frecuencia de riego implicaría un incremento del volumen de agua aplicado en cada riego, lo que se traduciría en un aumento del tamaño del bulbo húmedo según Bresler (1977, citado por Sellés *et al.*, 2003) y un incremento del contenido de aire (macroporosidad) en el suelo (Holzapfel *et al.* 1991, citado por Sellés *et al.*, 2003).

Contenido gravimétrico y volumétrico de agua en el suelo.

Con el objetivo de caracterizar el contenido hídrico del suelo al momento de la toma de las muestras, se realizó una grilla de muestreo señalada en la metodología de esta investigación (Figura 13), que permitió mostrar la distribución del agua 24 horas después del último de riego a través de la pérdida de agua a 105°C (Sadzawka *et al.*, 2006) y cuyos resultados se detallan en el Apéndice XVI.

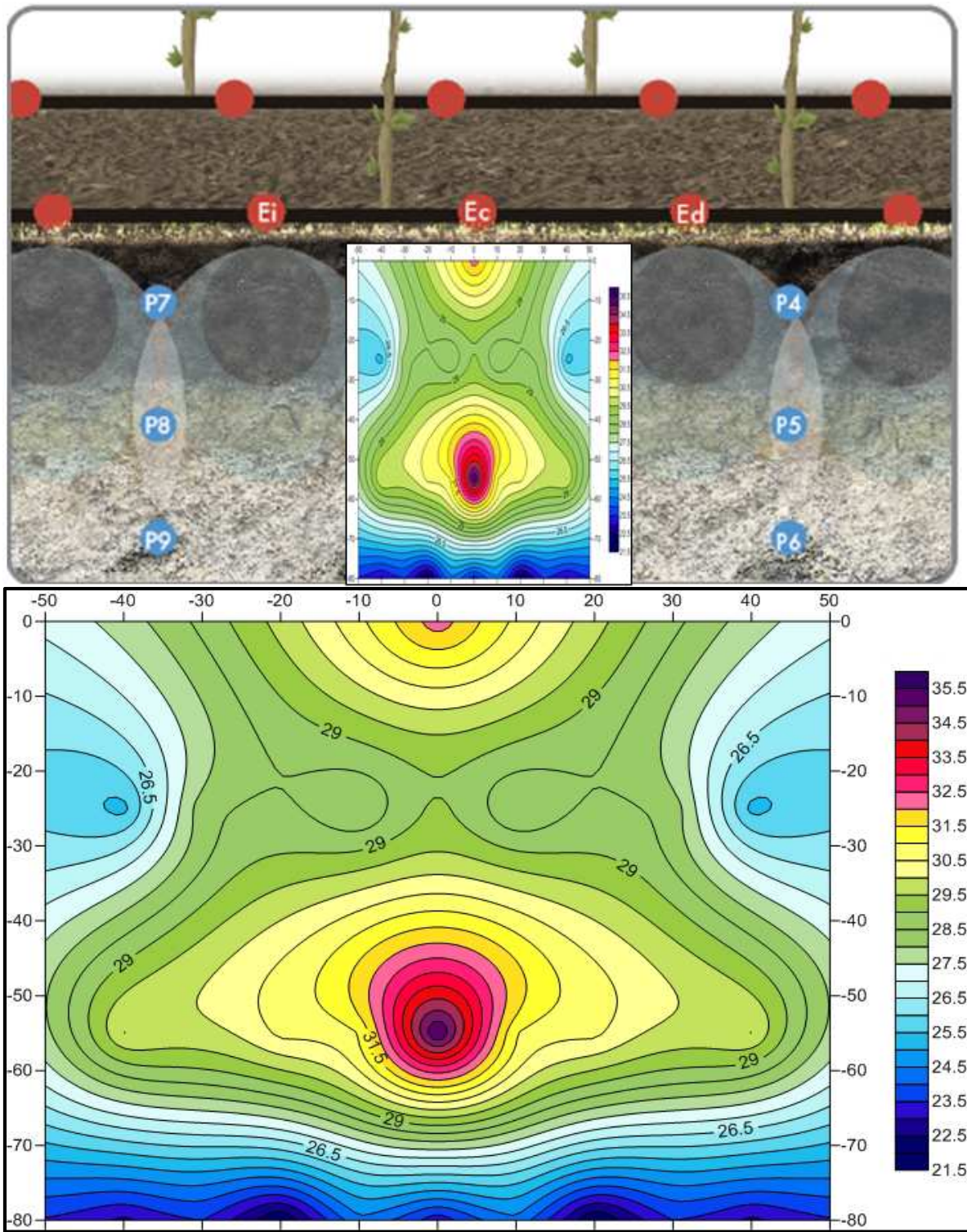


Figura 13. Distribución del contenido gravimétrico de agua (%) (Estufa a 105°C) en el perfil según horizontes genéticos de la calicata 2.

Los valores demostraron que los patrones de distribución del agua en el perfil de suelo son diferentes, donde se observó que la mayor concentración de agua se encuentra bajo el emisor, definiendo el frente de avance del bulbo de mojado aproximadamente a los 55 cm de profundidad, lo que se tradujo que al cabo de un riego la profundidad efectivamente irrigada es hasta los 65 a 70 cm. Similar comportamiento se observó cuando se determinó el contenido volumétrico a través de la sonda de capacitancia tipo TDR (Figura 14).

Debido a que la aireación de un suelo depende de la distribución y tamaño de los poros según Richards (1983, citado por Sellés *et al*, 2003) y que es un factor crítico para el desarrollo de la raíces, fue conveniente señalar que los contenidos volumétricos de agua en el suelo según Silva y Galleguillos (2012) al ser altos en P2 de la Calicata 2, (coincidentes con los menores valores de macroporosidad o CD en todas las calicatas en esta profundidad) hicieron necesario sugerir al agricultor monitorear el riego a fin de decidir cambios en el tiempo y frecuencia de riego para bajar sus contenidos de agua en el perfil durante futuras temporadas.

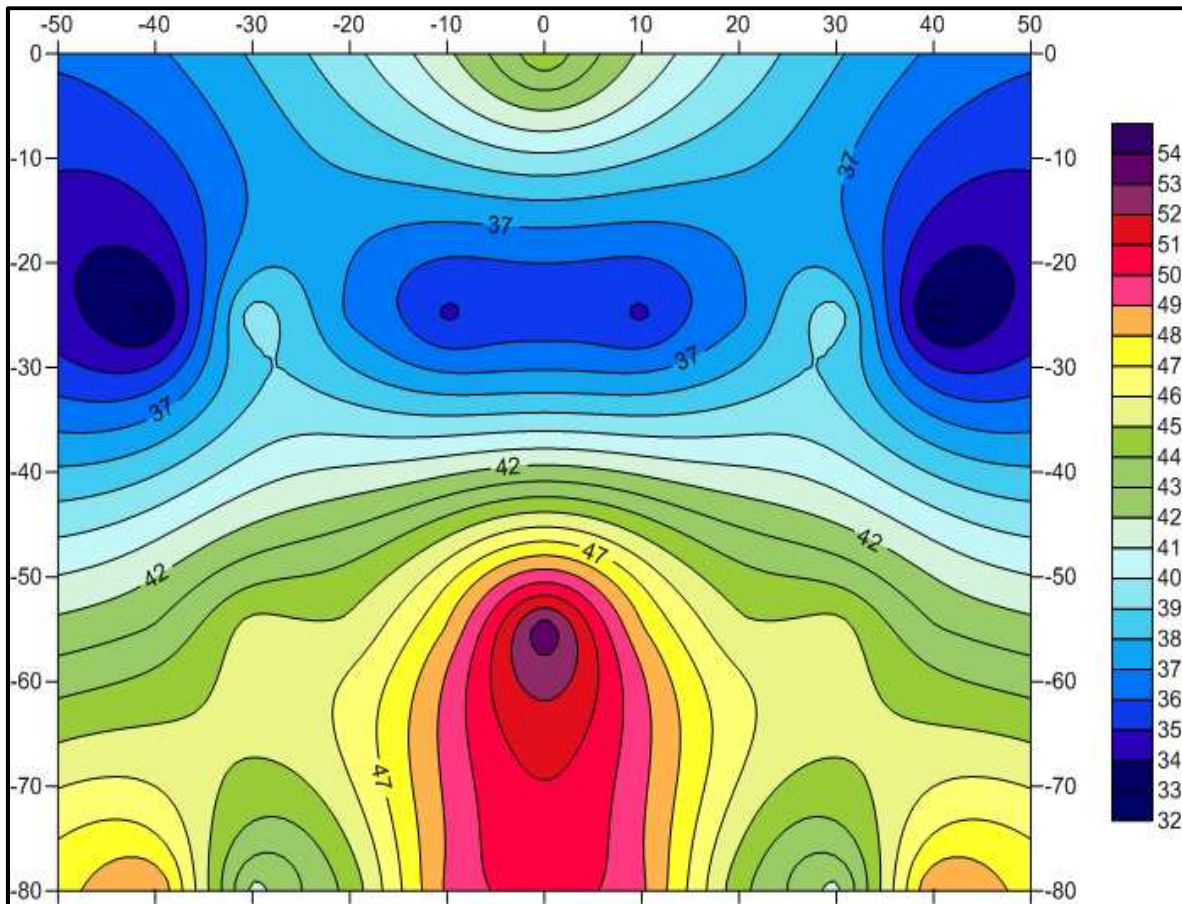


Figura 14. Medición del contenido volumétrico de agua (% bv, cm^{-3} de agua cm^{-3} de suelo) mediante sonda de capacitancia tipo TDR en el perfil según horizontes genéticos de la calicata 2.

CONCLUSIONES

En el estudio comparativo del pH, CE y nutrientes en el suelo medidos en extracto volumen 1:2 (V/V) suelo/agua (método holandés) y en extracto saturado en un parronal adulto, productivo, cv Red Globe, bajo condiciones de fertirriego por goteo, donde este suelo es una variante franco arcillosa de la Serie Hospital, Localidad de Viluco, Región Metropolitana es posible formular las siguientes conclusiones:

Se acepta que la hipótesis es correcta, siendo comparables ambos métodos bajo la metodología propuesta y la utilización de equipos portátiles de terreno sólo para el potasio. Dependiendo de la calicata y profundidad del suelo, se acepta parcialmente, para la CE y los nutrientes nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y sodio del suelo. Para el pH del suelo se rechaza la hipótesis.

La medición de concentraciones de cloruro en el método holandés, con un equipo de terreno, el cual entrega concentraciones en rangos asociados a una escala ordinal, no permite comparar ambos métodos.

Se determina que existe una correlación estadísticamente significativa (asociatividad positiva) entre el método 1:2 y el método del extracto saturado en todas las determinaciones químicas; encontrándose tres niveles o rangos de coeficientes de correlación lineal de Pearson (r) para las diferentes determinaciones, siendo alto para magnesio ($r = 0,896$); potasio ($0,868$); CE ($r = 0,865$); sodio ($r = 0,835$) y calcio ($r = 0,824$); razonable para nitrato ($r = 0,735$) y bajo para fosfato ($r = 0,478$) y pH ($r = 0,400$), aunque significativos.

Complementariamente a la correlación, al contrastar los dos métodos de extracción en sus determinaciones químicas a través de la prueba de Chi cuadrado (validación de modelos), se demuestra que la confiabilidad entre las discrepancias entre los dos métodos es aceptable para las variables CE; pH; fosfato y potasio, con valores mayores del 70%, mientras que para el resto de los nutrientes como nitrato; calcio; magnesio; sodio y cloruro las confiabilidades tienen valores menores del 70%.

Resulta necesario integrar la prueba Chi cuadrado en el análisis y comparación entre ambos métodos para explicar situaciones donde aún cuando el pH y fosfato tienen coeficientes de correlación bajos entre ambos métodos, tienen una confiabilidad alta en el pH y fosfato de 75% y 82,5% respectivamente, por lo que el modelo de predicción lineal no sería siempre adecuado para explicar la relación entre métodos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayers, R. 1983. Irrigation water quality. pp: 49-51. *In*: Reisenauer (Ed). Soil and plant tissue testing in California. University of California, Berkeley, EEUU. 56p.
- Ayers, R. S. and D.W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 29 (Rev. 1), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italia. 174p.
- ASOEX, CHILE. 2014. Exportación de frutas frescas por región de destino. Disponible en: <http://www.asoex.cl/estadisticas-de-exportacion.html>. Leído el 05 de junio de 2014.
- Baginsky, G. O. Seguel y A. Contreras. 2010. Impacto de la utilización de cultivos y enmiendas orgánicas sobre la funcionalidad del suelo. Facultad de Ciencias Agronómicas, Serie Ciencias Agronómicas N° 17. Universidad de Chile. Santiago. 122p.
- Barrales, L., I. Peña y P. Fernández de la Reguera. 2004. Validación de modelos: un enfoque aplicado. *Agricultura Técnica* 64 (1): 66 -73.
- Ben-Gal, A. and L. Dudley. 2003. Phosphorus availability under continuous point source irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1449 – 1456.
- Bohn, H., B. McNeal and G. O'Connor. 1993. *Química del suelo*. Editorial Limusa S.A. de C.V., México. 370p.
- Bohn, H.L., B.L. McNeal and G.A. O'Connor. 2001. *Soil chemistry*. 2nd ed. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc. New York, EEUU. 307p.
- Bouyoucos. G. 1962. Hydrometer method for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Broadley, M., P. Brown, I. Cakmak, J. Feng Ma, Z. Rengel and F. Zhao, F. 2012. Function of nutrients: Micronutrients. pp.249-257. *In*: Marschner, P. (Ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd Ed. Academic Press of Elsevier Ltd., San Diego, California, EEUU. 651p.
- Buckman, H. y N. Brady. 1977. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Editorial Montaner y Simón, S.A., Barcelona, España. 590p.
- Cadahía, C. 2003. Diagnóstico de suelos, sustratos, aguas y plantas para la optimización de la fertirrigación. p 1-11. *In*: SQMC (Ed). Segundo Seminario Internacional de Fertirriego organizado por SQMC. Santiago, Chile. 5 – 7 Agosto, 2003. Soquimich comercial S.A. Santiago, Chile.

- Cadahía, C y J. J. Lucena. 2005. Diagnóstico de nutrición y recomendación de abonado. pp: 183–257. In: Cadahía, C (Ed). *Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*, 3rd ed. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid, España. 681p.
- Callejas, R., B. Razeto y T. Del Río. 2012. Evolución nutricional en vides durante la temporada a partir de información publicada en la literatura. *Antumapu Profesional* Vol. 1(1):1-9.
- Casanova, M. 2010. Estudios de suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Publicación Departamento de Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile. 29p.
- Caviglia, O., R. Melchiori y O. Paparotti. 1996. Conductividad eléctrica del extracto de saturación estimada a partir de relaciones fijas de suelo: agua. INTA EEA Paraná y FCA-Universidad Nacional de Entre Ríos. Argentina. 8p.
- Christensen, P., A. Kasimatis y F. Jensen. 1978. Grapevine nutrition and fertilization in the San Joaquin Valley. 2nd ed. University of California, División of Agricultural Science. Berkeley, EEUU. Publication N° 4087. 40p.
- CIREN CHILE. 1996. Estudio Agrológico de la Región Metropolitana, Centro de Información de Recursos Naturales. Publicación N°115. 425p.
- Cook, J.A. and D.W. Wheeler. 1983. Use of tissue analysis in viticulture. pp.18-19. In: Reisenauer (Ed). *Soil and plant tissue testing in California*. University of California, Berkeley, EEUU. 56p.
- Dane, J.H. and J.W. Hopmans. 2002. Water retention and storage. pp: 717-720. In: Dane, J. H. and Topp, G. C. (Eds).. *Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods*. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, EEUU. 1692p.
- Falivene, S. 2008. Soil solution monitoring in Australia. Cooperative Research Centre for Irrigation Futures. *Irrigation Matters series* N° 04/08. 79p.
- Fassbender, H. y E. Bormemisza. 1987. *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Editorial del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San Jose, Costa Rica. 420p.
- Fernández, E.J. y F. Camacho. 2008. Interpretación de análisis de agua. pp.11-22. In: *Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo*. Ediciones agrotécnicas, Madrid, España. 164p.
- Finck, A. 1988. *Fertilizantes y fertilización. Fundamentos y métodos para la fertilización de los cultivos*. Editorial Reverté S.A. España. 439p.
- Graham, H, and N. Quinn. 2005. Comparison of soil salinity methods for wetland soils. Lawrence Berkeley National Laboratory of Occidental College, Berkeley, USA. 11p.

Goto, W. 2007. Dinámica de los nutrientes en el bulbo húmedo en el suelo vía fertirriego. pp 1–20. *In*: Yara Colombia S.A. (Ed). Segundo seminario Internacional de Fertirriego en Flores de Exportación organizado por Yara Colombia S.A y SQM Industrial S.A. Bogotá, Colombia. 12-13 Julio, 2007. Yara Publicaciones. Bogotá, Colombia.

Grossman, R. B. and T.G. Reinsch. 2002. The solid phase. Bulk density and linear extensibility. pp: 201-228. *In*: Dane, J. H. and Topp, G. C. (Eds). Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America. Book Series N° 5. Madison, Wisconsin, EEUU. 1692p.

Guardiola, J. y A. García. 1990. Fisiología vegetal I. Nutrición y transporte. Editorial Síntesis S.A. Valencia, España, 440p.

HANNA INSTRUMENTS. 2010a. Conductivity, section 3. pp. 1-47. *In*: Hanna Instrument Publication (Ed). General catalog. Volume 27: 670p.

HANNA INSTRUMENTS. 2010b. pH, section 5. Pp.1-271. *In*: Hanna Instrument Publication (Ed). General catalog. Volume 27: 670p.

Hanson, B., S. Gattan and A. Fulton. 2006. Agricultural salinity and drainage. Division of Agriculture and Natural Resources. University of California Irrigation Program. Publication 3375: 67-86.

Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring, I. Skumsager Moller and P. White. 2012. Functions of macronutrients. pp.135-189. *In*: Marschner, P. (Ed). Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd Ed. Academic Press of Elsevier Ltd., San Diego, California, EEUU. 651p.

INIA CHILE. 2008a. Laboratorio de suelos. Interpretación de análisis extracto saturado. Laboratorio de Chillán. INIA – Quilamapu, Chillán. 3p.

INIA CHILE. 2008b. Laboratorio de suelos. Interpretación de resultados de análisis químico de suelos. Laboratorio de Chillán. INIA – Quilamapu, Chillán. 5p.

Kafkafi, U. and J. Tarchitzky. 2011. Fertigation: A tool for efficient fertilizer and water management. International fertilizer industry association (IFA) and Potash Institute (IPI). IFA, Paris, Francia and IPI, Horgen, Suiza. 141p.

Kwast, A. 2010. Advance in nutrition with calcium in horticultural crops. p 1–35. *In*: Yara Colombia S.A. (Ed). Tercer Seminario Internacional de Fertirriego en Flores de Exportación organizado por Yara Colombia S.A. Bogotá y SQM Industrial S.A. Bogotá, Colombia. 9-10 Septiembre, 2010. Yara Publicaciones. Bogotá, Colombia.

Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutritional of Higher Plants. 3rd ed. Academic Press of Elsevier Ltd., San Diego, California, EEUU. 651p.

Mendenhall, W. R. Beaver and B. Beaver. 2009. Regression lineal y correlación. pp: 536 – 537. *In: Introducción a la probabilidad y estadística*. 12^a ed. Cengage Learning, Ixtapaluca, México. 272p.

MERCK, S.A. 2010. Reflectometry. pp.57-65. *In: Merck KGaA (Ed). Water and food analytics. Test kits, instruments and accessories*. Merck KGaA, Darmstadt, Germany. 154p.

Navarro, S. y G. Navarro. 2000. Química agrícola. Ediciones mundi-prensa, Madrid, España. 486p.

Ortiz, M. 1997. La calidad de las aguas de riego. Departamento de publicaciones, Universidad Autónoma de Chapingo, Distrito Federal, México. 53p.

Palacios, M., A. Pardo, E. Del Nero y F. Rodriguez. 1999. Estudio comparativo de la solución extraída por pelos radicales, cápsulas cerámicas y el extracto saturado, en condiciones de laboratorio. pp.53-63. *In: Muñoz-Carpena, R. Ritter, A. y Tascón, C. (Eds). Estudio de la zona no saturada del suelo*. ICIA. Tenerife, España. 193p.

Palma, J. 2003. Detección, seguimiento y control de soluciones nutritivas en tres variedades de uvas de mesa de exportación. p 1-11. *In: SQMC (Ed). Segundo Seminario Internacional de Fertirriego organizado por SQMC*. Santiago, Chile. 5–7 Agosto, 2003. Soquimich comercial S.A. Santiago, Chile.

Palma, J. 2005. Fertirrigación en uva de mesa. p 67-73. *In: Muñoz, I.; González, M. y Sellés, G. (Eds). Seminario Internacional. Manejo de riego y suelo en vides para vino y mesa. Serie Actas INIA CHILE N°39*. Santiago, Chile. 26-27 Octubre, 2005. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile.

Palma, J. 2006. Crop kit de uva de mesa. Guía de manejo. Departamento de nutrición vegetal de especialidad. Publicación SQM Nitratos S.A. Santiago, Chile. 134p.

Pereira, N. 2009. Avance y tecnología de riego en Chile. p 1-21. *In: Sociedad Internacional de Ciencias Hortícolas, la Comisión Nacional de Riego, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Universidad de Talca (Eds). VI International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*. Viña del Mar, Chile. 2-6 Noviembre, 2009. Viña del Mar, Chile.

Pino, P., R. Callejas, R., B. Razeto y G. Reginato. 2012. Análisis químico del extracto peciolar para evaluar el estado nutricional en la vid. *Pesq.Agropec. Bras.*, Brasilia, 47(1): 111-117.

Poblete, L. 2011. Modificación de las propiedades físicas de un suelo de textura fina de la III región cultivado con vid, mediante la incorporación de materia orgánica en la sobre hilera. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 46p.

Razeto, B. 1993. La nutrición mineral de los frutales. Deficiencias y excesos. Publicación de SQM S.A. Editorial Eves S.A. Santiago, Chile. 105p.

Razeto, B. 2011. Salinidad – Funciones de los nutrientes – Absorción y metabolismo del N y otros nutrientes. Apuntes de Cátedra de Nutrición Mineral de Frutales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Santiago, Chile. 7p.

Razeto, B. 2011. Interpretación de Análisis. Apuntes de Cátedra de Nutrición Mineral de Frutales. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Producción Agrícola. Santiago, Chile. 15p.

Reitemeier, R. 1951. Soil Potassium. pp.112-164. *In*: Norman, A. G (Ed). Advances in Agronomy. American Society of Agronomy. Volume III. Academic Press Inc. Publishers, New York, EEUU. 361p.

Rhoades, J., F. Chanduvi. and S. Lesch. 1999. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO Irrigation and Drainage Paper 57. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, Italia. 150p.

Ruiz, R. y M.A. Sadzawka. 2005. Nutrición y fertilización potásica en frutales y vides. Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. Colección libros INIA N° 14. Santiago, Chile. 80p.

Sadzawka, A. 1990 (Ed). Métodos de análisis de suelos. Santiago, Chile. Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. Serie La Platina N°6. 130p.

Sadzawka, A., M.A. Carrasco, R. Gez, M. De La Luz Mora, H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. Serie Actas INIA CHILE N° 34. 164p.

Sandoval, E., J. Dörner., O. Seguel, J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Chillán, Chile. Número 5. 80p.

Seguel, O y C. Benavides. 2011. Manual de Sesiones Prácticas de Laboratorio Cátedra de Física de Suelos. Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile. Publicación Departamento Ingeniería y Suelos. Santiago, Chile. 6p.

Sellés, G., R. Ferreyra, G. Contreras, R. Ahumada, J. Valenzuela y R. Bravo. 2003. Manejo del riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson seedless cultivada en suelos de textura fina. Agricultura Técnica 63 (2): 180-192.

Sellés, G. 2006. Programación y control de riego en uva de mesa en Valle de Aconcagua. p 4-6. In: New Ag International (Ed). 1^{er} Congreso Internacional New Ag en Español. Guadalajara, México. 15 Agosto, 2006. Guadalajara, México.

Selles, G. 2012. Evaluación de portainjertos en uva de mesa Thompson seedless (*Vitis vinifera* L.) en un suelo de baja aireación. Disponible en: <http://www.inia.cl/uvaconcagua>
Leído el 03 de Marzo de 2012.

Sellés, G., R. Ferreyra, M. Pinto y R. Ruiz. 2012a. Portainjertos en uva de mesa: experiencias en el valle de Aconcagua. Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. Boletín INIA CHILE N° 251. 112p.

Sellés, G., R. Ferreyra, R. Ruiz, R. Ferreyra y R. Ahumada. 2012b. Compactación de suelos y su control: Estudio de casos en el valle de Aconcagua. Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. Boletín INIA CHILE N° 234. 53p.

Sierra, C. y M. Calcagni. 1999. Salinidad, origen y su efecto sobre suelos y plantas. Informe técnico Estación Experimental Intihuasi, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA CHILE, La Serena. 12p.

Silva, P., Acevedo, E. y H. Silva. 2000. Manual de Estudio y Ejercicios de Laboratorio Cátedra Relación Suelo – Agua – Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Producción Agrícola. Universidad de Chile. Segunda edición. 56p.

Silva, H. y M. Galleguillos. 2012. Técnicas para el estudio del continuo suelo – agua – planta – atmósfera. Manual de sesiones prácticas de laboratorio Catedra Relación Suelo – Agua – Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Departamento de Producción Agrícola. Universidad de Chile. 45p.

Sonneveld, C. and J. Van Den Ende. 1971. Soil analysis by means of a 1:2 volume extract. Glasshouse crops research and experimental station, Naaldwijk, Netherlands. Plant and soil 35: 505–516.

Sonneveld, C., J. Van Den Ende and S.S. De Bes. 1990. Estimating the chemical compositions of soil solutions by obtaining saturation extracts or specific 1:2 by volume extracts. Glasshouse crops research and experimental station, Naaldwijk, Netherlands. Plant and Soil 122: 169–175.

SPECTRUM TECHNOLOGIES. 2011a. Cardy Potassium K⁺ Meter. Product Manual. 19p.

SPECTRUM TECHNOLOGIES. 2011b. Cardy Sodium Na⁺ Meter. Product Manual. 19p.

Steel, R. y J. Torrie. 1980. Linear correlation. pp.278 – 280. In: 2nd Ed. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Mc Graw-Hill Publishing company, New York. EEUU. 632p.

Stirzaker, R., F. Cook and J. Knight. 1999. Where to plant trees on cropping land for control of dryland salinity: some approximate solutions. Australia. *Agricultural Water Management* 39: 115-133.

Stirzaker, R. and P. Hutchinson. 2005. Irrigation controlled by a wetting front detector: field evaluation under sprinkler irrigation. *Australian Journal of Soil Research* 43: 935-943.

Stirzaker, R. 2008a. The wetting front detector: A Tool to help irrigators learn. *In: Water Saving in Agriculture*. International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Australia. Publication N°95. 12p.

Stirzaker, R. 2008b. Factors affecting sensitivity of wetting front detectors. *Acta Hort.*792:647-653.

Tejeda, H., M.A. Sadzawka y F. Araos. 2001. Análisis de suelo, foliar y de agua para el diagnóstico nutricional y de uso de fertilizantes y enmiendas: pp.197-230. *In: SQM S.A.* (Ed). *Agenda del salitre*. Undécima ed. Cousiño Asociados, Santiago, Chile. 1515p.

USSL STAFF. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States Department of Agriculture - Soil and Water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. *Agriculture Handbook* 60. U.S. Gov. Print. Office, Washington, DC, EEUU. 159p.

Valdés, A. 1977. Índice para la evaluación de los suelos. Servicio Agrícola y Ganadero. Santiago, Chile. 22p.

Valdés, A. 1998. Efecto de los nutrientes en vides de mesa y viníferas desde prefloración a cosecha, con énfasis en el nitrógeno. *Revista Aconex* 58 (enero-marzo): 25-28.

Van den Bos, A., C. De Kreij y W. Voogt. 1999. Bemestings Advies Basis Grond. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente (PBG). Naaldwijk, mei. Holand. 21p.

Vera, J. 2003. Riego inteligente. pp 1-38. *In: SQMC* (Ed). Segundo Seminario Internacional de Fertirriego organizado por SQMC. Santiago, Chile. 5 – 7 Agosto, 2003. Soquimich comercial S.A. Santiago, Chile.

Zúñiga. C. 2004. Manejo del riego mediante un monitoreo hídrico en tiempo real determinado con la técnica frequency domain reflectometry. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 41p.

INDICE DE ANEXOS

ANEXO II. Niveles de estándares nutricionales de pecíolo durante floración en uva de mesa (base peso seco).....	84
ANEXO III. Tabla de referencias para clasificación química de aguas según salinidad. ..	85
ANEXO IV. Fórmulas para calcular variables asociadas con la salinidad y sodicidad en el agua de riego.	86
ANEXO V. Figura de Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.	87
ANEXO VI. Evaluación del efecto de salinidad y RAS para reducción en la tasa de infiltración.....	88
ANEXO VII. Tabla referencial para clasificación de agua de riego y relación de adsorción de sodio (RAS _r) y grado de problema de infiltración.....	89
ANEXO VIII. Tabla de referencias para clasificación química del agua según su toxicidad.	91
ANEXO IX. Resumen sobre el significado agronómico e importancia práctica de características y parámetros determinados en el Análisis químico de Suelo.	92
ANEXO X. Clasificación de suelos de acuerdo a salinidad y PSI.....	94
ANEXO XI. Reducción en rendimiento potencial en uvas causado por salinidad (CE) medida en el extracto de saturación de suelo o pasta de saturación.	95
ANEXO XII. Interpretación de suelos bajo el método del Extracto Saturado.	96
ANEXO XIII. Interpretación de suelo bajo el método del Extracto Volumen 1:2.	98

ÍNDICE DE APÉNDICES

APÉNDICE I. Pruebas preliminares de determinación de contenido de agua (bajo el método por pérdida de masa a 105°C) de muestras de suelo secadas al aire a temperatura ambiente y cámara de aire forzado (30°C).	99
APÉNDICE II. Perfil modal que representa los sitios de muestreos (calicatas).	100
APÉNDICE III. Interpretación de análisis peciolar durante floración. Temporada 2012/2013.	102
APÉNDICE IV. Análisis del agua de riego del predio estudiado.	103
APÉNDICE V. Interpretación del análisis de agua de riego.....	104
APÉNDICE VI. Interpretación del análisis de agua de riego, clasificación según sodicidad.	105
APÉNDICE VII. Interpretación del análisis de riego, clasificación según toxicidad.....	106
APÉNDICE VIII. Resultados del análisis de fertilidad y cationes intercambiables del perfil modal (Calicata N° 2).	107
APÉNDICE IX. Clasificación de suelos de Calicata 4.....	108
APÉNDICE X. Determinación de correlación a través de la Prueba de rho (ρ).	109
APÉNDICE XI. Resultados de la prueba de Chi Cuadrado entre ambos métodos para todas las variables medidas.....	110
APÉNDICE XII. Prueba de normalidad para la determinación de cloruro en el método 1:2 y Prueba de Kruskal Wallis para calicata 1.	111
APÉNDICE XIII. Relación entre la suma de cationes ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) y la CE (dS m^{-1}) para ambos métodos de extracción.	115
APÉNDICE XIV. Análisis físico de suelos.	116
APÉNDICE XV. Regresión lineal entre porcentaje de retención de agua y contenido de arcilla y arena para las muestras de las cuatro calicatas.....	117
APÉNDICE XVI. Determinación del contenido de humedad bajo el método de la estufa (105°C) en el sitio definido como perfil modal-Calicata 2.	118

ANEXO I. SERIE HOSPITAL, franco arcillo limosa**Símbolo Cartográfico: HPT****Caracterización General**

La Serie Hospital es un miembro de la Familia limosa fina, mixta, térmica de los Mollic Epiaquepts (Inceptisol).

Suelos de origen aluvial, moderadamente profundos que se presentan en una topografía plana o plano cóncava en la cuenca de Hospital u otras depresiones similares del Llano Central de Santiago. El horizonte A es de color negro en el matiz 7.5YR y 10YR y se torna grisáceo muy oscuro en la parte inferior; textura franco arcillo limosa y estructura de bloques de 20 por 20 cm y 8 por 10 cm de altura que se parten en bloques de 8 por 8 cm y 5 cm de altura. Los horizontes C son de color gris oscuro en el matiz 10YR; el moteado se hace más evidente e intenso con la profundidad; textura arcillosa y estructura maciza, con material concrecionado de 1 cm de diámetro de color rojo sucio. El horizonte C_{4g} es de color gris en el matiz 10YR; textura franco arcillo limosa; estructura laminar, por estratificaciones producto al parecer de depositaciones en aguas tranquilas y escaso moteado.

Características Físicas y Morfológicas del Pedón**Profundidad (cm)**

0 - 16 A _p	Negro (7.5YR 2/0) en húmedo; franco arcillo limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable; estructura de bloques de 20 por 20 cm de altura que se parten en bloques más pequeños de 8 por 8 cm de altura, con grietas de separación de 0.5 a 1 cm Raíces finas abundantes; poros finos abundantes. Límite lineal, claro.
16 - 32 A ₁₂	Negro (10YR 2/1) en húmedo; franco arcillo limosa; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; friable; macizo. Raíces finas abundantes; poros finos abundantes. Límite lineal, claro.
32 - 45 C ₁	Negro a gris muy oscuro (10YR 2.5/1 a 3/1) en húmedo, con visos negros (7.5YR 2/0); franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; friable a firme; macizo. Raíces finas comunes; poros finos comunes a abundantes. Límite lineal, gradual.

(Continuación)

Continuación Anexo I.

45 – 55 C ₂	Gris muy oscuro a gris oscuro (10YR 3.5/1) en húmedo; franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; firme; macizo. Raíces finas escasas; poros finos comunes. Moteado común, fino, ligero, abrupto, de color pardo amarillento oscuro en el matiz 10YR. Concreciones subredondeadas de 1 por 0.5 cm de color 2.5YR 3/2, escasas. Límite lineal, gradual.
55 - 70 C _{3g}	Gris a gris oscuro (10YR 4.5/1) en húmedo; franco limosa a franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; firme; macizo. Raíces finas escasas; poros finos comunes. Moteado abundante, grueso, distinto, abrupto, de color pardo y pardo oscuro en el matiz 7.5YR. Concreciones redondeadas inferiores a 0.5 cm de diámetro, escasas a comunes. Límite lineal, abrupto.
70 - 120 y más C _{4g}	Gris (10YR 5/1) en húmedo, franco arcillo limosa; ligeramente plástico y adhesivo; friable; estructura laminar, fina, moderada, producto de estratificaciones del material. Raíces no se ven; poros finos escasos, medios comunes. Moteado común, medio, distinto; abrupto, de color pardo en el matiz 7.5YR. No hay concreciones.

Rango de Variaciones

La profundidad efectiva del suelo varía entre 45 y 92 cm La temperatura media anual del suelo se estima que varía entre 15 y 16° C.

El horizonte A_p es de color negro en el matiz 7.5YR ó 10YR cuando los suelos son de textura más pesadas que franca; en general la textura franco limosa se encuentra asociada a colores pardo muy oscuros a pardo grisáceos muy oscuros en el matiz 10YR, ocasionalmente son pardo oscuros en el matiz 7.5YR.

El horizonte A₁₂ varía en color de negro a pardo grisáceo muy oscuro en el matiz 10YR con texturas dominantes franco arcillo limosa a franco arcillosa.

El horizonte C₁ varía en color dentro del matiz 10YR, entre 2/1 y 3/1 variando las texturas de franco arcillo limosa a arcillosa.

El horizonte C₂ varía en color de 10YR 3/1 a 4/1, ocasionalmente es 3/2; las texturas presentan las mismas variaciones del horizonte anterior.

El horizonte C_{3g} es siempre de texturas franco limosa a franco arcillo limosa y colores en el matiz 10YR que fluctúa entre 4/2 y 5/2 con vetas negras ocasionales; este horizonte presenta una amplia gama de moteados, filamentos blancos finos y nódulos concrecionales subredondeados de materiales férricos que varían de escasos a comunes.

El horizonte C_{4g} presenta una amplia gama de colores donde predominan los 10YR 4/1 ó 5/1, pero que incluso pueden llegar a 7.5YR 2/0 cuando se encuentran suelos enterrados.

Continuación Anexo I.

Las texturas son muy variables, predominan las moderadamente finas y finas; los moteados son intensos e incluso se pueden encontrar sectores de color gris oscuro en el matiz 2.5Y.

Ubicación

La Serie se describió en la ortofoto N° 19729, Hospital, a 6.251,15 Km de Lat. UTM y a 342,05 Km de Long. UTM.

Posición

La Serie Hospital es un suelo de topografía plana o plano cóncava con pendientes dominantes de 0 a 1% y que se presenta en subcuencas de drenaje restringido, como es el caso de la subcuenca de Paine-Angostura.

Variaciones de la Serie Hospital

HPT - 1	Representa a la Serie y corresponde a suelos de textura superficial franco arcillo limosa, moderadamente profundos, planos y de drenaje imperfecto. Se clasifica en:			
	Capacidad de Uso	: IIIw2	Clase de Drenaje	: 3
	Categoría de Riego	: 3w	Aptitud Frutal	: D
	Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 3
HPT - 2	Corresponde a la Fase de textura superficial franco limosa, moderadamente profunda, plana y de drenaje moderado. Se clasifica en:			
	Capacidad de Uso	: IIw2	Clase de Drenaje	: 4
	Categoría de Riego	: 2w	Aptitud Frutal	: C
	Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 2
HPT - 3	Corresponde a la Fase de textura superficial franco arcillo limosa, moderadamente profunda, plana y de drenaje moderado. Se clasifica en:			
	Capacidad de Uso	: IIw2	Clase de Drenaje	: 4
	Categoría de Riego	: 2w	Aptitud Frutal	: C
	Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 2
HPT - 4	Corresponde a la Fase de textura superficial franco arcillo limosa, ligeramente profunda, plana, de drenaje imperfecto y sometida a inundaciones ocasionales. Se clasifica en:			
	Capacidad de Uso	: IIIw2	Clase de Drenaje	: 3
	Categoría de Riego	: 3w	Aptitud Frutal	: D
	Erosión	: 0	Aptitud Agrícola	: 3

Continuación Anexo I.

PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO

SERIE: HOSPITAL

PROFUNDIDAD cm	0 - 16	16 - 32	32 - 45	45 - 55	55 - 70
DISTRIBUCIÓN PARTÍCULAS POR TAMAÑO %					
< 2					
2-1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4
1-0,5	0,3	0,3	0,5	0,9	0,9
0,5-0,25	0,7	0,7	0,7	1,4	1,6
0,25-0,10	3,3	2,7	2,9	3,9	7,7
0,10-0,05	8,5	7,4	6,8	7,3	11,4
2-0,05	12,8	11,1	11,1	13,5	22,0
0,05-0,002	59,0	52,5	51,4	60,8	61,3
< 0,002	28,2	36,4	37,5	25,7	16,7
TEXTURA	FAL	FAL	FAL	FAL	FL
DENSIDAD APARENTE g/cm ³	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7
HUMEDAD RETENIDA 1/3 atm. %	51	47	43	40	36
HUMEDAD RETENIDA 15 atm. %	29	27	24	22	18
HUMEDAD APROVECHABLE %	22	20	19	18	18
CARBONO ORGÁNICO %	5,0	2,7	1,3	0,8	0,5
MATERIA ORGÁNICA %	8,6	4,6	2,2	1,4	0,9
pH H ₂ O	7,0	7,4	7,5	7,5	7,3
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (dS/m a 25° C)	1,0	1,1	0,7	0,5	0,4
COMPLEJO DE CAMBIO (cmol+/kg)					
Ca		29,5	29,4	26,2	22,1
Mg		10,7	11,4	10,3	6,3
K	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3
Na	0,9	1,3	1,2	1,0	0,7
SUMA DE BASES		41,8	42,5	37,9	31,4
CAPACIDAD TOTAL INTERCAMBIO	54,9	51,3	45,8	40,5	35,9
SATURACIÓN DE BASES %		81	93	94	87

Referencia:

1. CIREN-CHILE, 1996.

ANEXO II. Niveles de estándares nutricionales de pecíolo durante floración en uva de mesa (base peso seco)

Tejido: 100 pecíolos obtenidos desde la hoja opuesta al racimo en el centro del brote durante floración.

Elemento	Símbolo	Unidad	Niveles críticos		
			Deficiencia	Adecuado	Exceso
Nitrógeno total ^{1/}	N	%	< 1,0	1,3 - 1,5	> 1,5
Nitrógeno total ^{2/}	N	%	< 0,7	0,9 - 1,2	> 1,3
Fósforo	P	%	< 0,10	0,15	> 0,40
Potasio	K	%	< 1,0	1,5 - 2,5	
Calcio	Ca	%	< 1,5	1,5 - 2,5	
Magnesio	Mg	%	< 0,2	0,24 - 0,40	
Zinc	Zn	mg L ⁻¹	< 20,0	25,0 - 50,0	
Manganeso	Mn	mg L ⁻¹	< 20,0	25,0 - 300,0	
Hierro	Fe	mg L ⁻¹	< 50,0	> 60,0	
Boro	B	mg L ⁻¹	< 25,0	30,0 - 50,0	100,0 - 150,0
Cobre	Cu	mg L ⁻¹	< 3,0	> 3,0	
Cloruro	Cl	%			> 0,5
Sodio	Na	%			> 0,5

^{1/} Nitrógeno total determinado bajo método kjendahl para uvas verdes como Thompson seedless y Sugaone seedless.

^{2/} Nitrógeno total determinado bajo método kjendahl para variedades de color como Flame seedless, Red seedless

Red globe y Crimson seedless.

Referencias:

1. Valdés (1998).
2. Palma (2003, 2005 y 2006).

ANEXO III. Tabla de referencias para clasificación química de aguas según salinidad.

Parámetro	Rango	Categoría
USDA^{1/}; ^{2/} (dS m⁻¹)	< 0,25	Salinidad baja.
	0,25 - 0,75	Salinidad media.
	0,75 - 2,25	Salinidad alta.
	> 2,25	Salinidad muy alta.
FAO^{2/} (dS m⁻¹)	< 0,7	Buena calidad.
	0,7 - 3,0	Calidad condicionada.
	> 3,0	Mala calidad.
NCh1333-1978^{3/} (dS m⁻¹)	< 0,75	Generalmente se observarán efectos perjudiciales.
	0,75 - 1,5	Puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.
	1,5 - 3,0	Puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadosos.
	3,0 - 7,5	Puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.
Salinidad efectiva^{2/} (SE) (mmol_c L⁻¹)	< 3,0	Buen calidad (Clase 1)
	3,0 - 5,0	Agua condicionada (Clase 2)
	> 5,0	Mala calidad (Clase 3)
Salinidad Potencial^{2/} (SP) (mmol_c L⁻¹)	< 7,0	Buena calidad (Clase 1).
	7,0 - 15,0	Agua condicionada (Clase 2).
	> 15,0	Mala calidad (Clase 3).

Referencias:^{1/} USSL STAFF (1954).^{2/} Ortiz (1997).^{3/} Tejeda *et al.* (2001).

ANEXO IV. Fórmulas para calcular variables asociadas con la salinidad y sodicidad en el agua de riego.

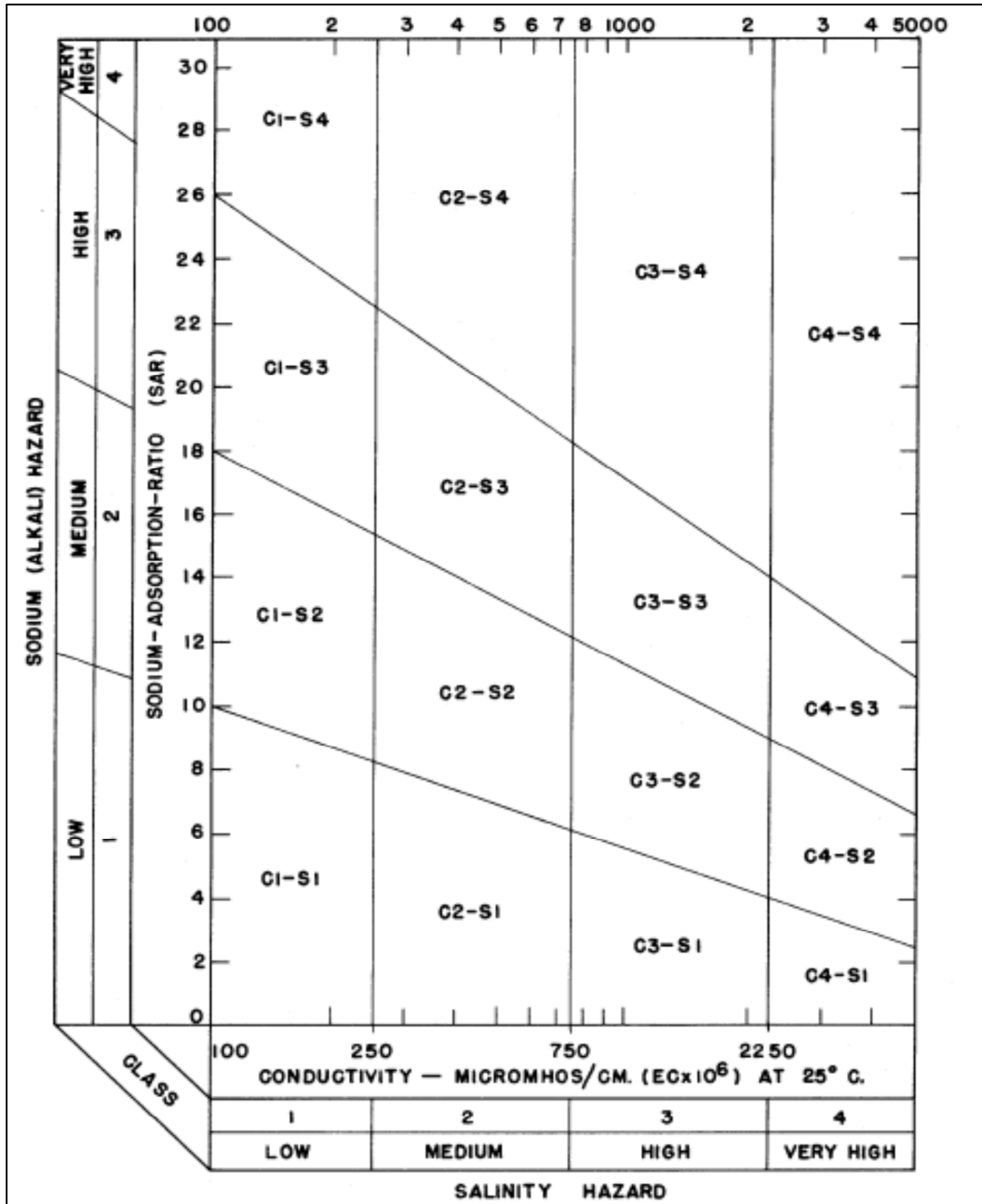
Variable	Fórmulas	Unidad de expresión*
Salinidad potencial ^{1/} (SP)	$SP = [Cl^-] + \frac{1}{2} [SO_4^{2-}]$	mmol _c L ⁻¹
Sólidos totales disueltos ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/} (TSD)	TDS (mg * L ⁻¹) es igual a CE (dS/m) X 640	mmol _c L ⁻¹
Potencial osmótico ^{3/; 4/} (PO)	PO = CE (dS m ⁻¹) X (-0,36)	(bar)
	PO (bar) X 10 ⁻¹ = MPa	(MPa)
Porcentaje de sales en el agua ^{4/} (PSA)	PSA es igual a CE (dS/m) X (0,064 X 10 ³)	(%)
Relación de adsorción de sodio ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/; 6/; 7/} (RAS)	$RAS_r = [Na^+] / [(Ca^{+2} + Mg^{+2}) / 2]^{1/2}$	
Porcentaje de sodio de intercambiable ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/; 6/} (PSI)	$PSI = [100 (0,01475 RAS - 0,0126) / 1 + (0,01475 RAS - 0,0126)]$	(%)
RAS correguido ^{1/ 2/} (RASc)	$RAS_c = 0,08 + 1,115 RAS$	
RAS correguid ^{2/} (RASc)	$RAS_c = [Na^+] / [(Ca^\circ + Mg^{+2})/2]^{1/2}$ Donde Ca ^o = Calcio corregido según tabla de HCO ₃ ⁻ /Ca ⁺² y CE (dS/m) ^{1/}	
pH calculado en equilibrio ^{1/} con CaCO ₃	$pH_c = (pK_2 - pK_c) + p(Ca+Mg) + p(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$	
Índice de saturación ^{1/} (IS)	$IS = 8,4 - pH_c$	pH
Ras ajustado ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/} (RASaj)	$RAS_{adj} = RAS \times [1 + (8,4 - pH_c)]$	mmol _c L ⁻¹
Porcentaje de sodio posible ^{1/} (PSP)	$PSP = [Na^+ \times 100 / (Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+) - (CO_3^{2-} + HCO_3^-)]$	(%)
Índice de permeabilidad ^{1/} (IP)	$IP = [(Na^+ + (HCO_3^-)^{(1/2)}) / (Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+)] \times 100$	(%)
Índice de Eaton o Carbonato sódico residual ^{1/; 6/} (CSR)	$CSR = [(CO_3H) + (CO_3^{2-}) - (Ca^{+2}) - (Mg^{+2})]$	mmol _c L ⁻¹
Dureza ^{6/}	$Dureza = [(mg Ca^{+2}/L \times 2,5 + mg Mg^{+2}/L \times 4,12) / 10]$	Grados hidrotimétricos franceses
Dureza ^{6/}	Dureza (grados hidrotimétricos franceses) x 10	(mg CaCO ₃ L ⁻¹)
Índice de Kelly ^{7/} (IK)	$IK = (Ca^{+2} / (Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^+)) \times 100$	
Índice de Langellier ^{7/} (I _L)	$I_L = pH_{agua} - pH_c$	

(*) Unidad de expresión mmol_c L⁻¹ es equivalente a meq L⁻¹.

Referencias:

^{1/} Ortiz (1997); ^{2/} Hanson *et al.* (2006); ^{3/} Bohn *et al.* (1993); ^{4/} Razeto (2011); ^{5/} Tejada *et al.* (2001); ^{6/} Cadahía y Lucena (2005) y ^{7/} Fernández y Camacho (2008).

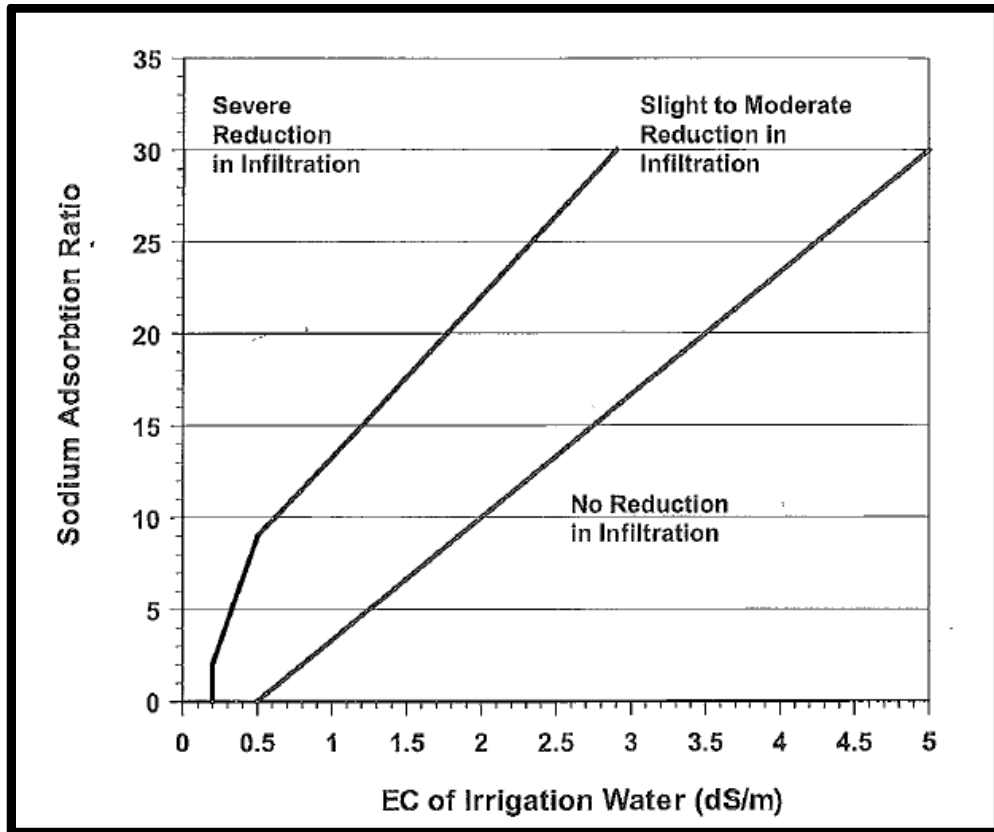
ANEXO V. Figura de Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego.



Referencias:

1. Cadahía y Lucena (2005).
2. Richards (1954, citado por Hanson *et al.*, 2006).
3. USSL STAFF (1954).

ANEXO VI. Evaluación del efecto de salinidad y RAS para reducción en la tasa de infiltración.



Referencia:

1. Ayers y Westcot (1985).

ANEXO VII. Tabla referencial para clasificación de agua de riego y relación de adsorción de sodio (RAS_r) y grado de problema de infiltración.

RASr	Problemas de Infiltración
0 – 5,0	Sin problemas
5 – 10,0	Problema en aumento
> 15,0	Severos problemas

Referencia:

1. Sierra y Calcagni (1999).

Continuación Anexo VII

Problemas y componentes relacionados	Ningún problema	Problemas en aumento	Problemas severos
Solubilidad			
Afecta la disponibilidad del agua para cultivos			
Ecw (mmhos cm ⁻¹)	< 1	1,0 - 2,7	> 2,7
Permeabilidad			
Afecta la proporción del movimiento del agua a través del suelo			
Ecw (mmhos cm ⁻¹)	> 0,5	0,5 - 2,0	< 0,2
RAS Ajustado	< 6,0	6,0 - 9,0	> 9,0
Toxicidad			
De iones que afectan el crecimiento del cultivo de uva de mesa			
Na (mmol _c L ⁻¹)	< 20,0		
Cl (mmol _c L ⁻¹)	< 4,0	4,0 - 15,0	> 15,0
Na (ppm o mg L ⁻¹)	< 1,0	1,0 - 3,0	> 3,0
Varios			
HCO ₃	< 15,0	1,5 - 7,5	> 7,5
N-NO ₃ (ppm o mg L ⁻¹)	< 5,0	5,0 - 30,0	> 30,0

Referencias:

1. Peacock (1992, citado por Palma, 2006).

ANEXO VIII. Tabla de referencias para clasificación química del agua según su toxicidad.

Parámetro	Rango	Categoría
Sodio ^{1/; 2/; 3/; 4/} (mmol _c L ⁻¹)	< 3,0	Salinidad baja.
	3,0 - 9,0	Salinidad media.
	> 9,0	Salinidad alta.
Cloruro ^{5/; 6/} (mmol _c L ⁻¹)	< 2,0	Generalmente inocuo para todas las plantas.
	2,0 - 4,0	Plantas sensibles pueden presentar daño leve a moderado.
	4,0 - 10,0	Plantas moderadamente tolerantes pueden sufrir daño leve a substancial.
	> 10,0	Puede causar daño severo.
	< 5,0	Aguas sin riesgo.
	5,0 a 9,0	Aguas con riesgo creciente.
	> 9,0	Aguas con riesgo grave (severa)
Boro ^{7/} (mg L ⁻¹)	< 3,0	Buen calidad (Clase 1)
	3,0 - 5,0	Agua condicionada (Clase 2)
	> 5,0	Mala calidad (Clase 3)

Referencias:

^{1/} Ayers (1983).

^{2/} Ortiz (1997).

^{3/} Razeto (2011).

^{4/} Tejeda *et al.* (2001).

^{5/} Amorós (1997, citado por Palma, 2006).

^{6/} Hanson and Grattan (2006, citado por Hanson *et al.* 2006).

^{7/} Grattan (2006, citado por Hanson *et al.* 2006).

ANEXO IX. Resumen sobre el significado agronómico e importancia práctica de características y parámetros determinados en el Análisis químico de Suelo.

Tabla de Referencia						
Parámetro	Rango	Categoría	Parámetro	Rango	Categoría	
pH ^{2/} (1:2,5) Determinación Potenciométrica	≤ 4,5	Extremadamente ácido	Relación ^{2/} C/N	> 30,0	Alta	
	4,6 - 5,0	Muy Fuertemente ácido		20,0 - 30,0	Normal	
	5,1 - 5,5	Fuertemente ácido		< 20,0	Baja	
	5,6 - 5,9	Moderadamente ácido	K Intercambiable ^{1/} (cmol _c kg ⁻¹)	< 0,12	Muy bajo	
	6,0 - 6,5	Ligeramente ácido		0,13 - 0,25	Bajo	
	6,6 - 7,3	Neutro		0,26 - 0,51	Medio	
	7,4 - 7,8	Ligeramente alcalino		0,52 - 0,64	Alto	
	7,9 - 8,4	Moderadamente alcalino	Fuertemente alcalino	Acetato amonio 1,0 M, determ. EEA	> 0,65	Muy alto
					< 0,15	Muy bajo
	Grado de Salinidad CE ^{1/; 2/; 3/; 5/} (dS m ⁻¹) Extracto Saturado	> 9,0	Muy Fuertemente alcalino	Na Intercambiable ^{1/} (cmol _c kg ⁻¹)	0,16 - 0,20	Bajo
< 2,0		normal no salino	0,21 - 0,30	Medio		
2,1 - 4,0		Ligeramente salino	Acetato amonio 1,0 M, determ. EEA	> 0,41	Muy alto	
4,1 - 8,0		Moderadamente salino	Ca Intercambiable ^{1/} (cmol _c kg ⁻¹)	≤ 2,0	Muy bajo	
8,1 - 16,0		Fuertemente salino	2,01 - 5,00	Bajo		
Materia orgánica ^{2/} (%) Walkey y Black	≥ 16,0	Muy Fuertemente salino	Acetato amonio 1,0 M, determ. EEA	5,01 - 9,00	Medio	
	≤ 1,5	normal, suelos arenosos	9,01 - 14,00	Alto		
	1,6 - 3,0	normal, suelos francos	≥ 14,1	Muy alto		
Nitrógeno Total ^{3/; 4/} (%)	3,0 - 6,0	normal, suelos arcillosos	Mg Intercambiable ^{1/} (cmol _c kg ⁻¹)	< 0,25	Muy bajo	
	5,0 - 25,0	normal, suelos volcánicos		0,26 - 0,50	Bajo	
	< 0,10	Bajo		0,51 - 1,00	Medio	
Nitrógeno disponible ^{1/} (mg kg ⁻¹)	> 0,20	Alto	Acetato amonio 1,0 M, determ. EEA	1,01 - 1,80	Alto	
	0 - 10,0	Muy bajo	≥ 1,81	Muy alto		
	11,0 - 20,0	Bajo	K ^{1/} (% CIC)	≤ 1,0	Muy bajo	
	21,0 - 35,0	Medio		1,0 - 2,0	Bajo	
	36,0 - 80,0	Alto		2,0 - 6,0	Medio	
	> 81,0	Muy alto		6,0 - 15,0	Alto	
			≥ 15,0	Muy Alto		

Continuación Anexo IX

Parámetro	Rango	Categoría	Parámetro	Rango	Categoría
Fósforo disponible ^{1/; 2/}	< 5,0	Muy bajo			
(mg kg ⁻¹)	5,1 - 10,0	Bajo	Na ^{1/}	≤ 7 - 8	Normal
Olsen	10,1 - 20,0	Medio	(% CIC) (PSI)	< 15	No sódico
	20,1 - 30,0	Alto		> 15	Sódico
	> 30,1	Muy alto		≤ 25	Muy bajo
Potasio Disponible ^{1/}	≤ 50,0	Muy bajo	Ca ^{1/}	26 - 60	Bajo
(mg kg ⁻¹)	50,1 - 100,0	Bajo	(% CIC)	60 - 80	Normal
Acetato de amonio	100,1 - 180,0	Medio		≥ 90	Alto
1,0 M, determ. EEA	180,1 - 250,0	Alto		≤ 6,0	Muy bajo
	≥ 250,0	Muy Alto	Mg ^{1/}	6,0 - 12,0	Bajo
CIC ^{1/}	< 5,0	Muy bajo	(% CIC)	12,0 - 20,0	Normal
(cmol _c kg ⁻¹)	5,0 - 10,0	Bajo		≥ 20,0	Alto
	11,0 - 19,0	Medio		5,0	Normal
	20,0 - 29,0	Alto	Relación ^{1/; 4/} Ca / Mg	≥ 10,0	Carencia de Mg
	> 30	Muy Alto			
Suma bases intercambio ^{1/}	≤ 3,00	Muy bajo			
(cmol _c kg ⁻¹)	3,01 - 6,00	Bajo	Relación ^{1/; 4/} K / Mg	≤ 0,1	Carencia de K
	6,01 - 10,00	Medio		0,2 - 0,3	Normal
	10,01 - 14,00	Alto		≥ 0,5	Carencia de Mg
	≥ 14,01	Muy Alto			
CE ^{5/}	≤ 0,5	Muy bajo	Materia orgánica ^{1/}	≤ 5,0	Bajo
(dS m ⁻¹)	0,5 - 1,0	Bajo	(%)	5,1 - 10,0	Normal
Extracto	1,0 - 2,5	Medio	Combustión húmeda	≥ 10,1	Alto
Saturado	2,5 - 4,0	Alto	Y titulación		
	≥ 4,0	Muy Alto			

^{1/} INIA CHILE (2008b).^{2/} Tejeda *et al.* (2001).^{3/} Poblete (2011).^{4/} Cadahía y Lucena (2005).^{5/} INIA CHILE (2008a).

ANEXO X. Clasificación de suelos de acuerdo a salinidad y PSI.

Tipo de Suelo	Variables químicas		
	CE (dS m ⁻¹)	PSI (%)	pH
Normal	< 2,0	< 15,0	6 – 7
Ligeramente salino	2,1 – 3,9	< 15,0	> 7
Salino	> 4,0	< 15,0	< 8.5
Sódico (no salino-alcalino)	< 4,0	> 15,0	> 8.5
Salino sódico (salino-alcalino)	> 4,0	> 15,0	< 8.5

Referencias:

1. Sierra y Calcagni (1999).
2. Tejeda *et al.*, (2001).
3. INIA CHILE (2008b).

ANEXO XI. Reducción en rendimiento potencial en uvas causado por salinidad (CE) medida en el extracto de saturación de suelo o pasta de saturación.

Reducción (%)	Conductividad eléctrica		Lixiviación necesaria (%)
	del extracto saturado (CEe)	Agua de riego (CEr)	
0	< 1,5	1	4
10	2,5	1,7	7
25	4,1	2,7	11
50	6,7	4,5	19

Referencias:

1. Hanson *et al.* (2006).
2. Palma (2006).

ANEXO XII. Interpretación de suelos bajo el método del Extracto Saturado.

Tabla de Referencia					
Parámetro	Rango	Categoría	Parámetro	Rango	Categoría
pH (extracto saturado) Potenciometría	$\leq 5,5$	Muy Bajo	Cloruros extracto saturado (mmol _c L ⁻¹)	$\leq 5,0$	Muy Bajo
	5,5 - 6,5	Bajo		5,0 - 9,0	Bajo
	6,5 - 7,5	Normal		9,0 - 14,0	Normal
	7,5 - 8,5	Alto		14,0 - 18,0	Alto
	$\geq 8,5$	Muy Alto		$\geq 18,0$	Muy Alto
CE (dS m ⁻¹) (extracto saturado) Conductivimetría	$\leq 0,5$	Muy Bajo	Sulfatos extracto saturado (mmol _c L ⁻¹)	$\leq 5,0$	Muy Bajo
	0,5 - 1,0	Bajo		5,0 - 10,0	Bajo
	1,0 - 2,5	Normal		10,0 - 15,0	Normal
	2,5 - 4,0	Alto		15,0 - 20,0	Alto
	$\geq 4,0$	Muy Alto		$\geq 20,0$	Muy Alto
Saturación de agua del suelo (%) Secado 105°C 24 h	$\leq 30,0$	Muy Bajo	Bicarbonatos extracto saturado (mmol _c L ⁻¹)	2,5 - 3,5	Bajo
	30,0 - 35,0	Bajo		3,5 - 4,5	Normal
	35,0 - 40,0	Normal		4,5 - 5,0	Alto
	40,0 - 45,0	Alto		$\geq 5,0$	Muy Alto
	$\geq 45,0$	Muy Alto		1,0 - 2,0	Bajo
Ca extracto saturado (mmol _c L ⁻¹) Determinación EAA	$\leq 10,0$	Muy Bajo	RAS	2,0 - 4,0	Normal
	10,0 - 15,0	Bajo		4,0 - 5,0	Alto
	15,0 - 20,0	Normal		$\geq 5,0$	Muy Alto
	20,0 - 25,0	Alto		$\leq 0,15$	Muy Bajo
Mg extracto saturado (mmol _c L ⁻¹) Determinación EAA	$\leq 7,0$	Muy Bajo	K / Ca	0,15 - 0,16	Bajo
	7,0 - 9,0	Bajo		0,16 - 0,18	Normal
	9,0 - 13,0	Normal		0,18 - 0,20	Alto
	13,0 - 15,0	Alto		$\geq 0,20$	Muy Alto
	$\geq 15,0$	Muy Alto			

Continuación Anexo XII

Tabla de Referencia					
Parámetro	Rango	Categoría	Parámetro	Rango	Categoría
K extracto saturado (mmol _c L ⁻¹) Determinación EAA	≤ 1,0	Muy Bajo	K / Mg	≤ 0,3	Muy Bajo
	1,0 - 2,0	Bajo		0,3 - 0,4	Bajo
	2,0 - 4,0	Normal		0,4 - 0,7	Normal
	4,0 - 5,0	Alto		0,7 - 0,8	Alto
	≥ 5,0	Muy Alto		≥ 0,8	Muy Alto
Na extracto saturado (mmol _c L ⁻¹) Determinación EAA	4,0 - 8,0	Bajo	Ca / Mg	≤ 1,5	Muy Bajo
	8,0 - 12,0	Normal		1,5 - 2,0	Bajo
	12,0 - 15,0	Alto		2,0 - 2,5	Normal
	≥ 15,0	Muy Alto		2,5 - 3,0	Alto
Nitratos extracto saturado (mmol _c L ⁻¹)	≤ 2,0	Muy Bajo	Ca / Na	≥ 3,0	Muy Alto
	2,0 - 4,0	Bajo		≤ 1,5	Bajo
	4,0 - 6,0	Normal	1,5 - 4,0	Normal	
	6,0 - 8,0	Alto	Clasificación	CE Ext (dS m ⁻¹)	RAS
	≥ 8,0	Muy Alto	Normal	< 4,0	< 13,0
		Salino	≥ 4,0	> 13,0	
		Sódico	> 4,0	≥ 13,0	
		Salino Sódico	≥ 4,0	≥ 13,0	

Referencia:

1. INIA CHILE. 2008a.

ANEXO XIII. Interpretación de suelo bajo el método del Extracto Volumen 1:2.

Elemento	Unidad	Bajo	Óptimo	Alto	Cultivos
pH	---	< 5,0	5,0 - 6,2	> 6,2	Clavel, Rosa e Hypericum
pH	---	< 6,0	6,0 - 6,5	> 6,5	Tomate invernadero y campo abierto
C.E.	dS m ⁻¹	< 0,7	0,7 - 1,1	> 1,4	Rosa, Hypericum y Tomate campo abierto
C.E.	dS m ⁻¹	< 1,0	1,0 - 1,4	> 1,4	Clavel
C.E.	dS m ⁻¹	< 1,25	1,25 - 1,56	> 1,56	Tomate invernadero
N-NO ₃ ^{1/}	ppm (mmol L ⁻¹)	< 62 (< 1,0)	62 - 496 (1,0 - 8,0)	> 496 (> 8,00)	Tomate campo abierto
N-NO ₃	ppm (mmol L ⁻¹)	< 124 (< 2,0)	124 - 496 (2,0 - 8,0)	< 496 (> 8,00)	Rosa, Hypericum y Tomate invernadero
N-NO ₃	ppm (mmol L ⁻¹)	< 140 (< 2,25)	140 - 496 (2,25 - 8,00)	< 496 (> 8,00)	Clavel
N-NH ₄ ^{1/}	ppm (mmol L ⁻¹)		< 9,1 (< 0,5)	> 9,1 (> 0,5)	Clavel, Rosa, Hypericum y Tomate c. abierto
N-NH ₄	ppm (mmol L ⁻¹)		< 18,2 (< 1,0)	> 18,2 (> 1,0)	Tomate invernadero
P-H ₂ PO ₄ ^{1/}	ppm (mmol L ⁻¹)	< 9,7 (< 0,1)	9,7 - 19,0 (0,1 - 0,2)	> 19 (> 0,2)	
K ^{1/}	ppm (mmol L ⁻¹)	< 39 (< 1,0)	39 - 59 (1,0 - 2,5)	> 98 (> 2,5)	
Ca	ppm (mmol L ⁻¹)	< 40 (< 1,0)	40 - 160 (1,0 - 4,0)	> 160 (> 4,0)	
Ca ^{2/}	ppm (mmolc L ⁻¹)	< 40 (< 2,0)	40 - 160 (2,0 - 8,0)	> 160 (> 8,0)	
Mg	ppm (mmol L ⁻¹)	17 (< 0,7)	17 - 49 (0,7 - 2,0)	49 (> 2,0)	
Mg ^{2/}	ppm (mmolc L ⁻¹)	17 (< 1,4)	17 - 49 (1,4 - 4,0)	49 (> 4,0)	
S-SO ₄	ppm (mmol L ⁻¹)	67 (< 0,7)	67 - 384 (0,7 - 4,0)	< 384 (> 4,0)	
Na ^{1/}	ppm (mmol L ⁻¹)		< 23 (< 4,0)	> 23 (> 4,0)	
Cl ^{1/}	ppm (mmol L ⁻¹)		< 142 (< 4,0)	> 142 (> 4,0)	
HCO ₃	ppm (mmol L ⁻¹)		< 92 (< 1,5)	> 92 (> 1,5)	
CO ₃	ppm (mmol L ⁻¹)		< 60 (< 1,0)	< 60 (< 1,0)	

^{1/} Elementos o compuestos monovalentes se cumple que mmol L-1 = mmolc L-1.

^{2/} Elementos o compuestos bivalentes se cumple que mmol L-1 = 2 mmolc L-1.

Referencia:

Van den Bos *et al.*, 1999.

APÉNDICE I. Pruebas preliminares de determinación de contenido de agua (bajo el método por pérdida de masa a 105°C) de muestras de suelo secadas al aire a temperatura ambiente y cámara de aire forzado (30°C).

Sistema Secado	Muestra		Textura	Número Capsula	Masa	Masa Capsula +	Masa Capsula +	Porcentaje de			
	20-23/12/2012	Prof. (cm)			Capsula (g)	Suelo Húmedo (g)	Masa Suelo Seco (g)	(a - b)	(b-c)	(a-b)/(b-c)	[(a-b)/(b-c)]* 100
Ambiente	9	0 a 36	Franco arcilla arenosa	1	26,45	36,45	36,23	0,22	9,78	0,02	2,25
		36 a 69	Arcillosa	3	26,98	36,98	36,61	0,37	9,63	0,04	3,84
	35	0 a 19	Franco arcilla arenosa	7	24,28	34,28	33,99	0,29	9,71	0,03	2,99
		19 a 90	Arcillosa	8	28,26	38,26	37,71	0,55	9,45	0,06	5,82
	225	0 a 30	Franco arcilla arenosa	21	28,75	38,75	38,2	0,55	9,45	0,06	5,82
		30 a 50	Arcillosa	15	28,69	38,69	38,36	0,33	9,67	0,03	3,41
Camara aire forzado	244	0 a 20	Franco arcillosa	9	27,72	37,72	37,49	0,23	9,77	0,02	2,35
		20 a 59	Arcillosa	57	26,93	36,93	36,37	0,56	9,44	0,06	5,93
	247	0 a 25	Franco arcilla arenosa	26	25,69	35,69	35,51	0,18	9,82	0,02	1,83
		25 a 51	Arcillosa	28	21,14	31,14	30,69	0,45	9,55	0,05	4,71
	255	0 a 15	Franco arcillosa	30	26,88	36,88	36,66	0,22	9,78	0,02	2,25
		15 a 55	Arcillosa	35	29,96	39,96	39,38	0,58	9,42	0,06	6,16
	263	0 a 37	Franco arcilla arenosa	45	26,86	36,86	36,72	0,14	9,86	0,01	1,42
	265	37 a 50	Arcillosa	51	31,36	41,36	40,84	0,52	9,48	0,05	5,49

Referencias:

1. Pruebas preliminares para presentación de Proyecto de Tesis (2012).

APÉNDICE II. Perfil modal que representa los sitios de muestreos (calicatas).

Profundidad (cm)	Características Físicas y Morfológicas del Perfil Modal
0 – 35 Ap	Negro (7,5 YR 2/0) en húmedo; franco arcillosa a franco arcillo limosa; moderadamente plástico y ligeramente adhesivo; estructura de bloques subangulares medios, moderados; friable. Raíces y porosidad abundantes (macro y microporos). Límite lineal, claro.
21 - 52 B ₁	Pardo oscuro a pardo (7,5 YR 4/2 – 5/2) en húmedo; franco arcillosa; moderadamente plástico y adhesivo; estructura de bloques subangulares medios y gruesos, moderados; friable. Raíces finas y medias comunes; con menor porosidad que en el horizonte anterior. Límite lineal, gradual.
70 - 125 B ₂	Pardo oscuro (7,5 YR 4/2) en húmedo; franco arcillosa; plástico y adhesivo; estructura de bloques subangulares gruesos, moderados; friables. Raíces finas escasas. Porosidad disminuye en profundidad, a más de 125 cm está el substratum, que está formado por gravas redondeadas de origen mineralógico mixto. El material intersticial es de textura franco arcillosa a arenosa en profundidad. Este sustratum no presenta compactación y por lo tanto permite el paso de raíces y del agua.

Observaciones

La presencia de raíces en los primeros 70 cm es muy abundante y su cantidad disminuye en profundidad. Todas las raíces se presentan activas y sanas (no hay necrosis).



Figura 16. Visualización del perfil modal (Calicata 2) de cuartel N°6 de la variedad Red Globe.

APÉNDICE III. Interpretación de análisis peciolar durante floración. Temporada 2012/2013.

Identificación	Contenido foliar de nutrientes						
	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Zn (mg L ⁻¹ = ppm)	Mn (mg L ⁻¹ = ppm)
Cuartel 6, Red Globe	1,4	0,43	2,43	1,6	0,44	79	9
Caracterización nivel	Alto	Alto	Adecuado	Adecuado	Alto	Alto	Bajo
Nivel Deficiente	0,7 ^{1/}	<0,10 ^{1/} / 0,15 - 0,19 ^{2/}	<1,0 ^{1/} / 0,79 ^{2/}	<1,5 ^{1/} / <1,0 ^{2/}	<0,2 ^{1/}	<20 ^{1/} / <15 ^{2/}	<20 ^{1/}
Nivel bajo	0,7 - 0,89 ^{2/}	0,20 - 0,29 ^{2/}	0,8 - 1,29 ^{2/}	1,0 - 2,5 ^{2/}		15 - 25 ^{2/}	
Niveles adecuados	0,9 - 1,2 ^{1/;2/}	0,15 - 0,30 ^{1/} / 0,30 - 0,40 ^{2/}	1,5 - 2,5 ^{1/} / 1,3 - 3,0 ^{2/}	1,5 - 2,5 ^{1/}	0,25 - 0,40 ^{1/}	25 - 50 ^{1/} / >25 ^{2/}	25 - 300 ^{1/} / 25 - 500 ^{2/}
Nivel exceso	>1,2 ^{1/;2}	>0,40 ^{1/;2/}	>3,0 ^{2/}		>0,4 ^{2/}		

Referencias

^{1/} Valdés (1998).

^{2/} Palma (2003; 2005 y 2006).

APÉNDICE IV. Análisis del agua de riego del predio estudiado.

Identificación muestra	:	Muestra De Agua
Origen	:	
N° de Laboratorio	:	27685
pH		7,38
C.Eléctrica	dS/m	1,6
RAS corregida (Relación Adsorción Sodio)		1,9
Sodio porcentual (Na)	%	20,6
Dureza (CaCO3)	mg/l	650
Cationes y aniones (meq/l)		
Calcio (Ca)	meq/l	10,2
Magnesio (Mg)	meq/l	2,8
Potasio (K)	meq/l	0,10
Sodio (Na)	meq/l	3,4
Cloruro (Cl)	meq/l	5,2
Sulfato (SO4)	meq/l	7,4
Bicarbonato (HCO3)	meq/l	3,7
Cationes y aniones (mg/l)		
Calcio (Ca)	mg/l	204
Magnesio (Mg)	mg/l	34
Potasio (K)	mg/l	4
Sodio (Na)	mg/l	78
Cloruro (Cl)	mg/l	184
Sulfato (SO4)	mg/l	355
Bicarbonato (HCO3)	mg/l	226
Otras determinaciones		
Boro (B)	mg/l	0,27

Referencia:

- Informe de laboratorio Agrolab (2013).

Comprobación del análisis de agua de riego^{1/}

- La suma de cationes sea igual que la suma de aniones con una variación admisible de $\geq 5\%$, expresado en $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$. Entonces, tenemos que la suma de cationes = $16,5 \text{ mmol}_e \text{L}^{-1}$ y la suma de aniones = $16,3 \text{ mmol}_e \text{L}^{-1}$, lo que representa una diferencia de $0,2 \text{ mmol}_e \text{L}^{-1}$ lo que representa un $1,2\%$; luego se cumple la comprobación que el análisis de agua fue bien ejecutado.
- La Conductividad eléctrica (expresada en $\mu\text{S cm}^{-1}$) dividida entre la suma de cationes y la suma de aniones en $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$ se encuentre entre los rangos 80 y 110. Entonces tenemos que $\rightarrow \text{CE } (\mu\text{S cm}^{-1}) / (\text{Suma cationes}) = 1600/16,5 = 97$ y $\rightarrow \text{CE } (\mu\text{S cm}^{-1}) / (\text{Suma aniones}) = 1600/16,3 = 98$; luego ambos valores calculados se encuentran entre 80 y 110, en consecuencia, se cumple la comprobación que el análisis de agua fue bien ejecutado.
- La CE (expresada en $\mu\text{S cm}^{-1}$) debe ser el resultado de dividir la suma de cationes medida en $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$ entre un factor que suele ser 10, pero que debe estar siempre entre 8 y 11. Entonces, tenemos que $\text{CE} = 16,5/\text{factor} \rightarrow \text{factor} = 16,6/1,6 = 10,3$; luego se cumple la comprobación que el análisis de agua fue bien ejecutado.

Referencia: ^{1/} Fernández y Camacho (2008).

APÉNDICE V. Interpretación del análisis de agua de riego.

Salinidad		
N°	Tipo de Clasificación	Valor y Categoría
1	USDA ^{1/} Norma	CE = 1,6 dS m ⁻¹ - Clase C3 - Salinidad alta Salinidad alta - (0,75 a 2,25 dS m ⁻¹)
2	FAO ¹ Norma	CE = 1,6 dS m ⁻¹ - Calidad Condicionada Condicionada - (CE entre 0,7 y 3 dS m ⁻¹)
3	Norma Oficial Chilena (NCh 1333-1978) ^{2/}	CE = 1,6 dS m ⁻¹ - Puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita métodos de manejo cuidadosos
4	TSD ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/}	1,024 mg L ⁻¹
5	PRESIÓN OSMÓTICA ^{3/; 5/} (PO)	(-0,0576 MPa)
6	POTENCIAL SALES AGUA ^{5/} (PSA)	102,4
7	SALINIDAD EFECTIVA ^{1/} (SE) Norma	6,3 (Clase 3) - Mala calidad (Si CE > 5 mmol _c L ⁻¹ - Mala)
8	SALINIDAD POTENCIAL ^{1/} (SP) Norma	8,9 (Clase 2) (Agua condicionada - suelos bien drenados)

Referencias^{1/} Ortiz (1997).^{2/} Tejeda *et al.* (2001).^{3/} Bohn *et al.* (1993).^{4/} Hanson *et al.* (2006).^{5/} Razeto (2011).

APÉNDICE VI. Interpretación del análisis de agua de riego, clasificación según sodicidad.

Sodicidad		
N°	Tipo de Clasificación	Valor y Categoría
9	RELACIÓN ADSORCIÓN SODIO ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/; 6/; 7/} (RAS _s)	1,33
10	PORCENTAJE SODIO INTERC. ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/; 6/} (PSI)	0,70 (según Formula)
11	RAS CORREGIDO ^{1/; 4/} (RAS _c)	1,8
12	RAS AJUSTADO ^{1/; 2/; 3/; 4/; 5/; 6/; 7/; 8/} (RAS _{aj})	3,3
13	CLASIFICACIÓN RIVERSIDE ^{1/; 4/; 5/; 6/}	C3S1
14	CARBONATO SÓDICO RESIDUAL ^{1/; 3/; 6/} (CSR)	(-) 9,3 (Recomendable)
	Norma	Sí CSR < 1,25 (agua recomendable)
15	DUREZA ^{6/}	65,08° hidrotimétricos franceses (° hf)
	Norma	Dureza entre 32 y 54° hf (Agua dura)
	DUREZA ^{6/}	650 mg L ⁻¹
	Norma	Dureza entre 320 y 540 mg L ⁻¹ (Agua dura)
16	ÍNDICE SCOTT ^{1/; 6/}	11,08 (Tolerable)
	Norma	Si Índice de Scott tiene rango entre 6 y 18 (Tolerable)
17	ÍNDICE DE SATURACIÓN ^{1/} (IS)	1,5
	Norma	(IS > 0, entonces CaCO ₃ precipita)
18	ÍNDICE DE PERMEABILIDAD ^{1/} (IP)	32,0 (Clase II - Condicionada)
	Norma	Sí IP > 25, suelo textura media - Condicionada
19	PORCENTAJE DE SODIO POSIBLE ^{1/} (PSP)	26,8 (Sin peligro de sodificar)
	Norma	Sí PSP > 50 puede volver sódico suelo
20	ÍNDICE DE KELLY ^{2/} (IK)	IK = 62,19 (Agua buena)
	Norma	Si Índice de Kelly es mayor a 35% (Agua buena)
21	ÍNDICE DE LANGELLIER ^{2/} (IL)	IL = 0,48
	Norma	Si IL > 0 (+) tendencia a precipitar CaCO ₃
22	OTRAS SALES ^{2/}	Na ₂ SO ₄ = 0,0 mmol _c L ⁻¹ ; NaCl = 3,3 mmol _c L ⁻¹ MgCL ₂ = 1,9 mmol _c L ⁻¹ ; Na ₂ CO ₃ = 0,0 mmol _c L ⁻¹ CaSO ₄ + MgSO ₄ + Ca(HCO ₃) ₂ + Mg(HCO ₃) ₂ = 11,1 mmol _c L ⁻¹
23	Clasificación Wilcox ^{1/; 5/}	Buena a Aceptable
24	Clasificación Oklahoma ^{1/}	Aceptable

(*) Unidad de expresión mmol_c L⁻¹ es equivalente a meq L⁻¹

Referencias: ^{1/} Ortiz (1997); ^{2/} Tejeda *et al.* (2001); ^{3/} Bohn *et al.* (1993); ^{4/} Hanson *et al.* (2006); ^{5/} Razeto (2011); ^{6/} Cadahía y Lucena (2005); ^{7/} Fernández y Camacho (2008).

APÉNDICE VII. Interpretación del análisis de riego, clasificación según toxicidad.

Toxicidad	
Tipo de Clasificación	Valor y Categoría
SODIO (Na⁺)^{1/}; ^{2/} Norma	3,4 meq L ⁻¹ (pueden provocar toxicidad) Puede provocar toxicidad si (3 < Na ⁺ < 9 meq L ⁻¹)
CLORURO (Cl⁻)^{2/} Norma	6,0 meq L ⁻¹ (Riesgo en aumento) Puede provocar toxicidad, daño leve a sustancial (4 < Cl ⁻ < 10 meq L ⁻¹)
BORO^{2/}; ^{3/}; ^{4/} (B) Norma	B = 0,27 mg L ⁻¹ (sin riesgo) Uva de Mesa tiene Rango Sensible de 0,3 mg L ⁻¹ a 1,0 mg L ⁻¹

Referencias:^{1/} Ortiz (1997).^{2/} Tejeda *et al.* (2001).^{3/} Bohn *et al.* (1993).^{4/} Ayer (1983, citado por Reisenauer 1983).

APÉNDICE VIII. Resultados del análisis de fertilidad y cationes intercambiables del perfil modal (Calicata N° 2).

Identificación Cuartel	:	SM2 PR1	SM2 PR2	SM2 PR3	
Profundidad muestreo(cm)	:				
N° de Laboratorio	:	161830	161831	161832	
Fertilidad					
pH	(agua, relación 1:2,5)	1:2,5	7,7 Lig.Alcalino	7,8 Lig.Alcalino	6,8 Neutro
C.Eléctrica (en extracto)		dS/m	1,2 Sin Problema	1,1 Sin Problema	1,00 Sin Problema
Materia orgánica		%	4,2 Alto	1,4 Bajo	0,87 Bajo
Nitrógeno total	(N)	%	0,15	0,05	0,05
Relacion C/N		-	16	16	10
Nitrógeno disponible	(N)	mg/kg	36 Medio	28 Medio	22 Medio
Fósforo disponible	(P)	mg/kg	10 Medio	4 Muy bajo	3 Muy bajo
Potasio disponible	(K)	mg/kg	250 Adecuado	225 Adecuado	216 Adecuado
Cationes Intercambiables					
Calcio	(Ca)	meq/100g	24,0 Alto	18,2 Alto	18,1 Alto
		% CIC	82	80	82
Magnesio	(Mg)	meq/100g	3,7 Alto	3,0 Alto	2,9 Alto
		% CIC	13	13	13
Potasio	(K)	meq/100g	0,64 Adecuado	0,58 Adecuado	0,55 Adecuado
		% CIC	2,2	2,5	2,5
Sodio	(Na)	meq/100g	0,54 Medio	0,47 Bajo	0,49 Bajo
		% CIC	1,8	2,1	2,2
Suma de bases (Ca+Mg+K+Na)			28,9	22,2	22,0
CIC (Cap.Intercambio Cationico)		meq/100g	29,3	22,7	22,0

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

Referencia:

1. Informe de análisis Laboratorio Agrolab (2013).

APÉNDICE IX. Clasificación de suelos de Calicata 4.

Calicata 4	CE (dS m ⁻¹)	pH	(mmhos _c L ⁻¹)				PSI (%)	Clasificación
			Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	RAS		
P1	0,86	8,07	2,03	5,43	1,03	1,12	0,40	Normal
P2	1,05	7,93	2,70	6,80	1,22	1,34	0,72	Normal
P3	3,00	7,67	5,94	19,20	5,58	1,68	1,21	Ligeramente salino

Referencias:

1. Sierra y Calcagni (1999).
2. Tejeda *et al.* (2001).

APÉNDICE X. Determinación de correlación a través de la Prueba de rho (ρ).

Parámetro	Variables químicas								
	CE	pH	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁼	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻
r	0,865	0,400	0,735	0,478	0,868	0,824	0,896	0,835	0,546
n	36	36	36	36	36	36	36	36	37
Valor p	p < 0,0001	P = 0,0155	p < 0,0001	p = 0,0032	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0001	p < 0,0005

Valor p < 0,05 son estadísticamente significativos.

Referencias:

1. Mendenball *et al.* (2009).
2. Steel y Torrie (1980).

APÉNDICE XI. Resultados de la prueba de Chi Cuadrado entre ambos métodos para todas las variables medidas.

Variable	Suma		E (%)										Confiabilidad (100-E)		
	$X_i - \mu_i$	$(X_i - \mu_i)^2$ [d_i^2]	β	β^2	n	$n\beta^2$	Z_{Tabla}	Z^2	Discrepancia	E^2	Z^2/E^2	χ_c^2		χ^2_{Tabla}	
CE	-13,30	8,70	-0,37	0,1369	36	4,93	3,78	1,05	1,1025	29,0	0,0841	13,1	44,68	51,96	71,0
pH	19,86	13,35	-0,55	0,3043	36	10,96	2,39	1,15	1,3225	25,0	0,0625	21,2	28,2	51,96	75,0
Nitrato	67,22	214,70	1,87	3,4869	36	125,53	89,17	0,48	0,2304	63,0	0,3969	0,6	1051,10*	51,96	37,0
Fósforo	5,52	1,75	0,15	0,0235	36	0,85	0,90	1,28	1,6384	17,5	0,0729	53,5	10,61	51,96	82,5
Potasio	-0,23	0,07	0,00	0,0000	36	0,00	0,07	1,81	3,2761	7,0	0,0049	668,6	0,84	51,96	93,0
Calcio	-119,40	571,64	-3,32	11,0003	36	396,01	175,63	0,38	0,1444	70,0	0,4900	0,3	2070,29*	51,96	30,0
Magnesio	-28,50	40,72	-0,79	0,6267	36	22,56	18,16	0,75	0,5625	55,0	0,3025	2,8	214,06*	51,96	45,0
Sodio	-21,87	32,11	-0,61	0,3690	36	13,28	18,83	0,74	0,5476	45,5	0,2070	2,6	221,96*	51,96	54,5
Cloruro	-1,24	76,38	-1,24	1,5323	36	55,16	21,22	0,72	0,5184	46,5	0,2162	2,4	250,21*	51,96	53,5

Nota: (*) estadísticamente significativo cuando $\chi^2_c > \chi^2$ tabla (g.l. = 34; $\alpha = 0,05$).

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_i)^2 - nB^2}{\sigma^2} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - nB^2}{\sigma^2} = \frac{Z^2_{(1-\alpha/2)}}{E^2} \left(\sum_{i=1}^n d_i^2 - nB^2 \right) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

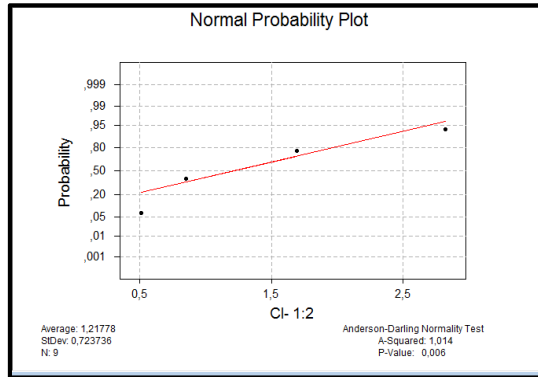
- x_i : Valor de la variable i en extracto volumen 1:2,
- μ_i : Valor de la variable i según extracto de saturación.
- n: Número de muestras.
- B: Sesgo de la constante.
- σ^2 : Varianza de los datos.
- E: Discrepancia aceptada.
- Z: Percentil de distribución normal estándar.

Variable	Discrepancia		Variable	Discrepancia	
	Aceptada	Confiabilidad		Aceptada	Confiabilidad
	E (%)	(100-E)		E (%)	(100-E)
CE	29	71	Nitrato	63	37
pH	25	75	Calcio	70	30
Fósforo	17,5	82,5	Magnesio	45	55
Potasio	7	93	Sodio	45,5	54,5
			Cloruro	46,5	53,5

Referencias: Barrales *et al.*, 2004.

APÉNDICE XII. Prueba de normalidad para la determinación de cloruro en el método 1:2 y Prueba de Kruskal Wallis para calicata 1.

CALICATA 1



ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=1 y Método 1:2 en CL

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	1.7239	0.1892
2	Row Mean Scores Differ	2	3.0168	0.2213

Total Sample Size = 9

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=1 y Método 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P2

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	0.0556	0.8137
2	Row Mean Scores Differ	1	0.0556	0.8137

Total Sample Size = 6

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=1 y Método 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P3

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	1.6667	0.1967
2	Row Mean Scores Differ	1	1.6667	0.1967

Total Sample Size = 6

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=1 y Método 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P2 Y P3

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

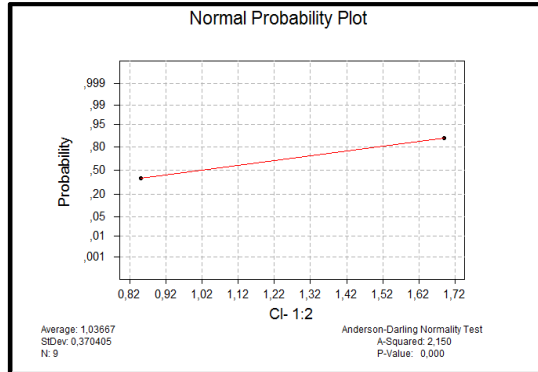
Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	2.7222	0.0990
2	Row Mean Scores Differ	1	2.7222	0.0990

Total Sample Size = 6

Continuación Apéndice XII.

Prueba de normalidad para la determinación de cloruro en el método 1:2 y Prueba de Kruskal Wallis para calicata 2.

CALICATA 2



ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Analisis Calicata=2 y Metodo 1:2 en CL

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	0.0000	1.0000
2	Row Mean Scores Differ	2	4.5714	0.1017

Total Sample Size = 9

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Analisis Calicata=2 y Metodo 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P2

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	2.5000	0.1138
2	Row Mean Scores Differ	1	2.5000	0.1138

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Analisis Calicata=2 y Metodo 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P2 Y P3

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by Cl

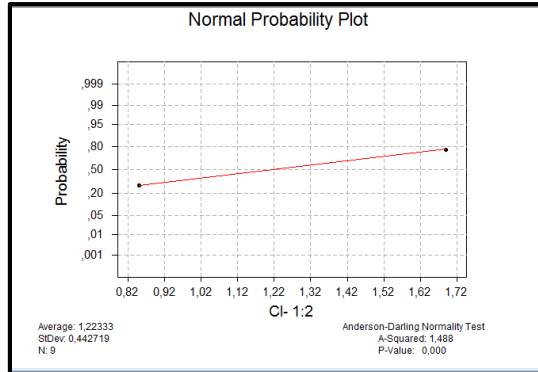
Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	2.5000	0.1138
2	Row Mean Scores Differ	1	2.5000	0.1138

Continuación Apéndice XII.

Prueba de normalidad para la determinación de cloruro en el método 1:2 y Prueba de Kruskal Wallis para calicata 3.

CALICATA 3



ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=3 y Metodo 1:2 en CL

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	5.4000	0.0201
2	Row Mean Scores Differ	2	5.6000	0.0608

Total Sample Size = 9

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=3 y Metodo 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P2

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	1.0000	0.3173
2	Row Mean Scores Differ	1	1.0000	0.3173

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=3 y Metodo 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P3

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	5.0000	0.0253
2	Row Mean Scores Differ	1	5.0000	0.0253

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=3 y Metodo 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P2 Y P3

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

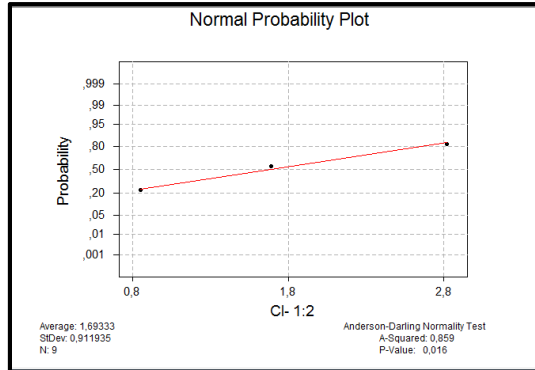
Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	2.5000	0.1138
2	Row Mean Scores Differ	1	2.5000	0.1138

Continuación Apéndice XII.

Prueba de normalidad para la determinación de cloruro en el método 1:2 y Prueba de Kruskal Wallis para calicata 4.

CALICATA 4



ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=4 y Método 1:2 en CL

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	4.9778	0.0257
2	Row Mean Scores Differ	2	5.0540	0.0799

Total Sample Size = 9

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=4 y Método 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P2

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	2.4000	0.1213
2	Row Mean Scores Differ	1	2.4000	0.1213

Total Sample Size = 6

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=4 y Método 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P1 Y P3

The FREQ Procedure

Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	4.5000	0.0339
2	Row Mean Scores Differ	1	4.5000	0.0339

Total Sample Size = 6

ANALISIS DE CALICATA EVALUADOS POR TEST KRUSKAL-WALLIS
Análisis Calicata=4 y Método 1:2 en CL; PROFUNDIDAD P2 Y P3

The FREQ Procedure

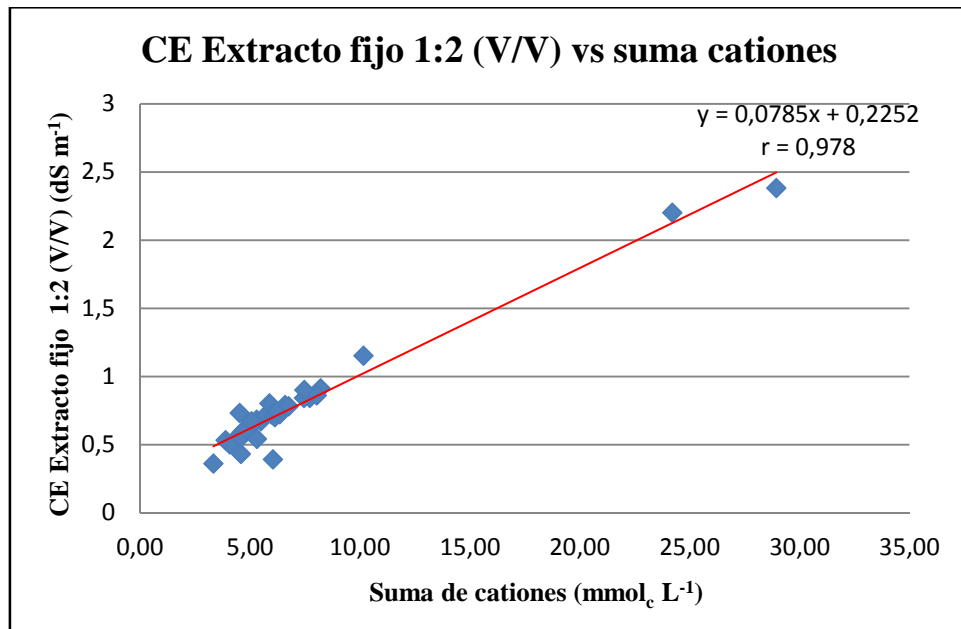
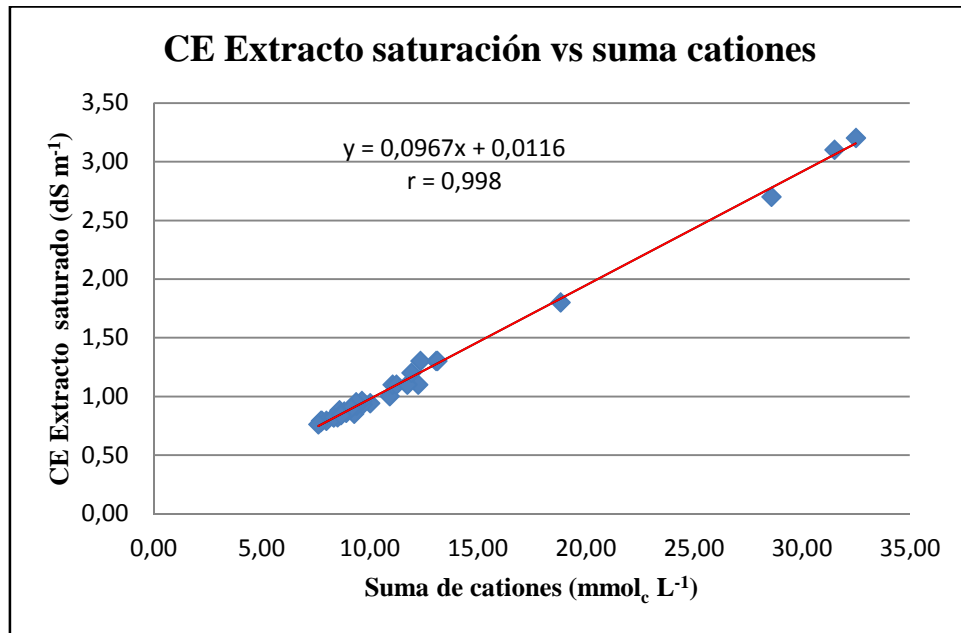
Summary Statistics for PROFUNDIDAD by CI

Cochran-Mantel-Haenszel Statistics (Based on Rank Scores)

Statistic	Alternative Hypothesis	DF	Value	Prob
1	Nonzero Correlation	1	0.8889	0.3458
2	Row Mean Scores Differ	1	0.8889	0.3458

Total Sample Size = 6

APÉNDICE XIII. Relación entre la suma de cationes ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) y la CE (dS m^{-1}) para ambos métodos de extracción.

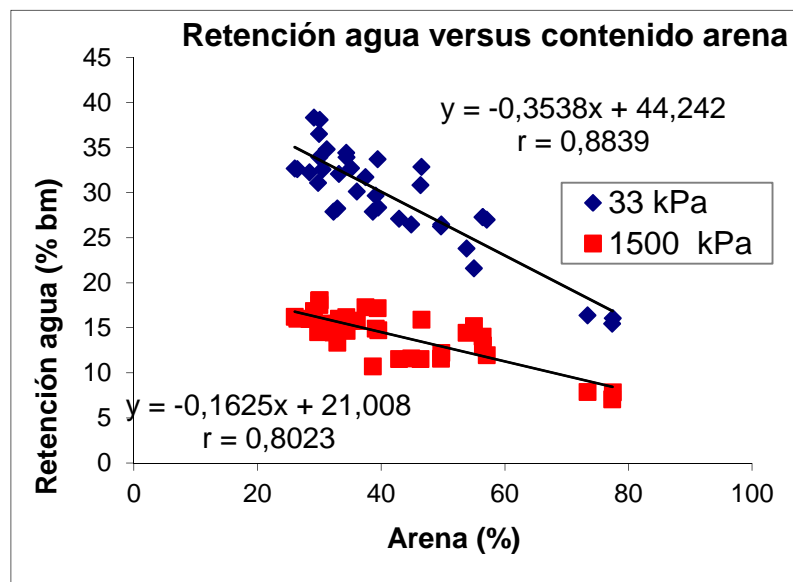
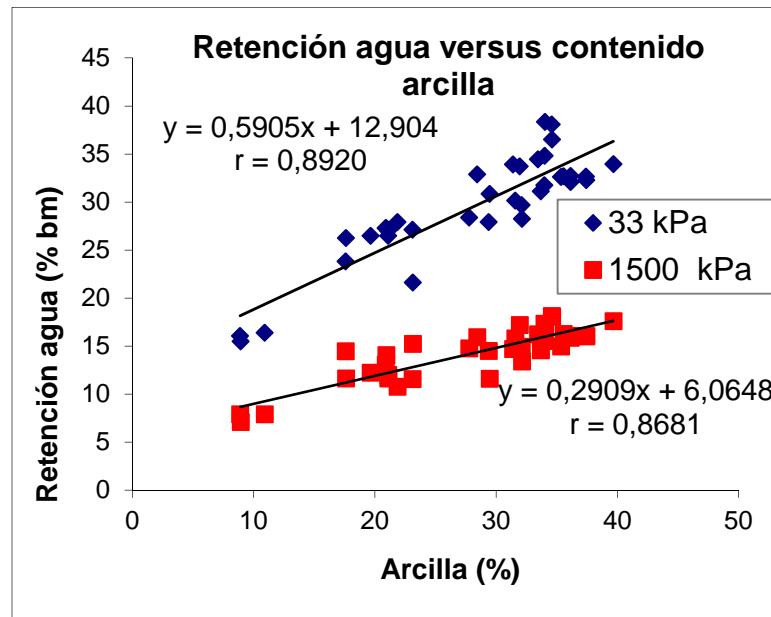


APÉNDICE XIV. Análisis físico de suelos.

N° Lab.	Identificación de terreno (Horizonte o estrata)	Granulometría			Clase ^{1/}	Densidad	Agua	Retención de Agua (kPa)			
		A	L	a	Textural (USDA)	Aparente (Mg m ⁻³)	(%)	33 (% base masa)	1500 (% base volumen)	33	1500
F1757	Calicata 1 P1R1	21,1	34,1	44,8	F	1,29	27,8	26,5	11,6	34,1	14,9
F1760	Calicata 1 P1R2	23,1	34,0	42,9	F	1,16	31,4	27,1	11,5	31,5	13,4
F1763	Calicata 1 P1R3	21,9	39,5	38,6	F	1,25	30,7	27,9	10,7	34,9	13,4
F1758	Calicata 1 P2R1	21,1	21,9	57,0	FAa	1,23	27,7	27,0	12,0	33,3	14,8
F1761	Calicata 1 P2R2	20,9	22,7	56,4	FAa	1,36	24,5	27,3	13,0	37,0	17,7
F1764	Calicata 1 P2R3	20,9	22,7	56,4	FAa	1,40	26,2	27,3	14,0	38,1	19,6
F1759	Calicata 1 P3R1	8,9	13,7	77,4	Fa	1,66	20,4	16,1	7,9	26,7	13,1
F1762	Calicata 1 P3R2	10,9	15,7	73,4	Fa	1,48	21,3	16,4	7,9	24,2	11,6
F1765	Calicata 1 P3R3	8,9	13,8	77,3	Fa	1,62	20,5	15,5	7,1	25,0	11,4
F1766	Calicata 2 P1R1	37,4	34,2	28,4	FA	1,39	30,4	32,3	16,0	44,7	22,2
F1769	Calicata 2 P1R2	37,4	36,2	26,4	FA	1,25	30,9	32,6	16,0	40,7	20,0
F1772	Calicata 2 P1R3	35,6	38,4	26,0	FA	1,27	29,6	32,7	16,2	41,4	20,6
F1767	Calicata 2 P2R1	29,4	38,4	32,2	FA	1,52	27,3	27,9	14,5	42,4	22,0
F1770	Calicata 2 P2R2	33,7	36,5	29,8	FA	1,48	27,5	31,1	14,5	46,1	21,6
F1773	Calicata 2 P2R3	35,4	34,1	30,5	FA	1,29	31,1	32,6	14,9	42,0	19,2
F1768	Calicata 2 P3R1	23,1	21,9	55,0	FAa	1,42	29,4	21,6	15,2	30,7	21,6
F1771	Calicata 2 P3R2	31,6	32,4	36,0	FA	1,42	29,5	30,1	15,8	42,7	22,4
F1774	Calicata 2 P3R3	27,8	32,7	39,5	F-FA	1,39	27,7	28,4	14,7	39,5	20,5
F1775	Calicata 3 P1R1	31,4	34,2	34,4	FA	1,22	26,3	33,9	14,7	41,2	17,8
F1778	Calicata 3 P1R2	33,5	32,2	34,3	FA	1,31	31,0	34,4	16,2	45,0	21,2
F1781	Calicata 3 P1R3	34,0	34,8	31,2	FA	1,32	30,5	34,8	15,5	46,1	20,5
F1776	Calicata 3 P2R1	36,1	30,7	33,2	FA	1,44	27,0	32,1	16,0	46,3	23,1
F1779	Calicata 3 P2R2	36,1	28,8	35,1	FA	1,35	29,4	32,7	15,8	44,3	21,4
F1782	Calicata 3 P2R3	39,7	30,3	30,0	FA-A	1,40	29,3	33,9	17,6	47,5	24,6
F1777	Calicata 3 P3R1	34,0	28,6	37,4	FA	1,31	32,3	31,7	17,3	41,5	22,6
F1780	Calicata 3 P3R2	32,1	28,8	39,1	FA	1,37	30,8	29,7	14,9	40,8	20,5
F1783	Calicata 3 P3R3	32,1	35,0	32,9	FA	1,36	30,3	28,2	13,4	38,3	18,1
F1784	Calicata 4 P1R1	34,0	36,9	29,1	FA	1,39	32,2	38,3	16,9	53,4	23,5
F1787	Calicata 4 P1R2	34,6	35,4	30,0	FA	1,30	33,8	38,1	18,1	49,6	23,6
F1790	Calicata 4 P1R3	34,6	35,5	29,9	FA	1,25	31,2	36,5	18,0	45,7	22,6
F1785	Calicata 4 P2R1	28,4	25,1	46,5	FAa	1,45	29,5	32,9	15,9	47,6	23,0
F1788	Calicata 4 P2R2	31,9	28,7	39,4	FA	1,41	29,2	33,7	17,2	47,4	24,2
F1791	Calicata 4 P2R3	29,5	24,2	46,3	FAa	1,57	24,1	30,8	11,6	48,4	18,1
F1786	Calicata 4 P3R1	17,6	32,8	49,6	F	1,49	26,8	26,2	11,6	39,1	17,3
F1789	Calicata 4 P3R2	19,6	30,7	49,7	F	1,49	27,2	26,5	12,2	39,5	18,2
F1792	Calicata 4 P3R3	17,6	28,6	53,8	Fa	1,54	24,1	23,8	14,4	36,6	22,2

1/: Clase Textural, F: Franca; FA: Franco arcillosa; FAa: Franco arcillo arenosa; Fa: Franco arenosa.

APÉNDICE XV. Regresión lineal entre porcentaje de retención de agua y contenido de arcilla y arena para las muestras de las cuatro calicatas.



APÉNDICE XVI. Determinación del contenido de humedad bajo el método de la estufa (105°C) en el sitio definido como perfil modal-Calicata 2.

Profundidad*	Punto Ubicación	Ubicación (cm)	N° Cap	Cap S/tapa	Masa Cap (**)	Masa Cap. (**) +	Masa Cap. (**) +				Humedad (%)	Promedio
					(g)	S. Húmedo (g)	Masa S. Seco	(a - b)	(b-c)	(a-b)/(b-c)		
P1	HA-0-R1	25	24	16,75	25,66	38,53	35,63	2,9	9,97	0,29	29,09	28,46
	HA-0-R2	25	45	19,87	28,67	40,70	38,08	2,62	9,41	0,28	27,84	
	HA-10-R1	25	53	17,27	25,81	36,08	33,91	2,17	8,1	0,27	27,94	
	HA-10-R2	25	33	17,88	26,89	47,22	42,78	4,44	15,9	0,28	27,94	
	HA-20-R1	25	36	15,84	25,42	38,74	35,78	2,96	10,4	0,29	28,57	
	HA-20-R2	25	51	18,86	31,35	42,54	40,21	2,33	8,86	0,26	26,30	
	HA-30-R1	25	60	17,92	26,80	37,41	35,07	2,34	8,27	0,28	28,30	
	HA-30-R2	25	31	15,26	24,14	35,76	33,25	2,51	9,11	0,28	27,55	
	HA-40-R1	25	21	19,92	28,77	40,15	37,85	2,3	9,08	0,25	25,33	
	HA-40-R2	25	50	15,29	24,43	35,42	33,2	2,22	8,77	0,25	25,31	
P2	HB1-0-R1	55	61	26,82	35,60	48,58	45,17	3,41	9,57	0,36	35,63	36,48
	HB1-0-R2	55	32	19,38	28,49	39,27	36,34	2,93	7,85	0,37	37,32	
	HB1-10-R1	55	30	18,36	26,87	37,18	34,74	2,44	7,87	0,31	31,00	
	HB1-10-R2	55	26	20,14	28,46	39,55	36,87	2,68	8,41	0,32	31,87	
	HB1-20-R1	55	34	18,89	27,92	39,22	36,57	2,65	8,65	0,31	30,64	
	HB1-20-R2	55	43	18,58	27,91	39,52	36,77	2,75	8,86	0,31	31,04	
	HB1-30-R1	55	38	19,50	32,00	43,32	40,72	2,6	8,72	0,30	29,82	
	HB1-30-R2	55	28	12,63	21,10	31,76	29,43	2,33	8,33	0,28	27,97	
	HB1-40-R1	55	22	19,68	28,31	41,48	38,44	3,04	10,1	0,30	30,01	
	HB1-40-R2	55	16	18,66	27,31	40,59	37,47	3,12	10,2	0,31	30,71	
P3	HB2-0-R1	80	17	17,01	25,85	37,56	35,36	2,2	9,51	0,23	23,13	23,54
	HB2-0-R2	80	13	21,30	33,67	46,30	43,86	2,44	10,2	0,24	23,95	
	HB2-10-R1	80	12	17,86	26,87	39,01	36,63	2,38	9,76	0,24	24,39	
	HB2-10-R2	80	15	18,12	26,26	40,44	37,76	2,68	11,5	0,23	23,30	
	HB2-20-R1	80	5	19,70	28,52	39,09	37,19	1,9	8,67	0,22	21,91	
	HB2-20-R2	80	9	18,46	27,67	37,92	36,04	1,88	8,37	0,22	22,46	
	HB2-30-R1	80	8	19,12	28,21	43,34	40,46	2,88	12,3	0,24	23,51	
	HB2-30-R2	80	4	20,59	29,36	41,60	39,36	2,24	10	0,22	22,40	
	HB2-40-R1	80	1	17,78	26,40	37,09	35,1	1,99	8,7	0,23	22,87	
	HB2-40-R2	80	2	18,42	27,51	39,18	36,91	2,27	9,4	0,24	24,15	

[*]: P1: 0 - 25 cm; P2: 26 a 55 cm y P3: 56 a 85 cm.
 (**): Masa Capsula incluye peso de Capsula y Tapa.

