



Università degli Studi di Bologna
Universidad Nacional del Comahue
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Tesis para optar al grado académico de
Magister Scientiae en Fruticultura de Clima Templado-Frío

**Desarrollo y evaluación de un índice de calidad de suelo en montes de pera
manejados bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico, en el Alto
Valle de Río Negro**

Ing. Agr. HOLZMANN, Rosa de Lima

General Roca, 2 de Septiembre de 2010

**Desarrollo y evaluación de un índice de calidad de suelo en montes de pera
manejados bajo dos sistemas de producción, convencional y orgánico, en el
Alto Valle de Río Negro**

Ing. Agr. Holzmann, Rosa de Lima

Director: Ph. D. Enrique Sánchez

Codirector: Ms. Sc. Patricia Schmid

Università degli Studi di Bologna

Universidad Nacional del Comahue

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

DEDICATORIA

A mi padre, madre y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposo e hijos, a Graciela, a mis compañeros de maestría, a mis compañeros de trabajo, a Fredis, a Mariela, Andrea, Raquel, a mis directores, al INTA, a los productores y técnicos que permitieron mi trabajo en sus chacras.

RESUMEN

El Alto Valle de Río Negro es una importante región frutícola que posiciona a la Argentina como el primer productor de peras del hemisferio sur y primer exportador del mundo. Los suelos que sostienen esta producción han mejorado paulatinamente desde el advenimiento del riego. Sin embargo existe una serie de complicaciones producto del paso de las maquinarias en momentos en los que los suelos se encuentran con altos contenidos hídricos. El manejo de los suelos en plantaciones de peral puede enmarcarse dentro de dos sistemas, “orgánico” y “convencional”. Los sistemas orgánicos mantienen una cobertura vegetal permanente sobre la superficie del suelo a lo largo del año; en tanto que en los convencionales, se suelen remover los primeros centímetros del mismo a fines del invierno con el propósito de realizar la lucha pasiva contra las heladas tardías.

A nivel mundial, se habla de la necesidad de disponer de métodos eficientes y objetivos para evaluar la calidad de los suelos, definida por su capacidad para funcionar dentro de los límites de ecosistemas naturales o cultivados, mantener la productividad y promover la sanidad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y sostener la salud y habitación humana. Los objetivos de este trabajo fueron seleccionar una serie de propiedades del suelo o indicadores, para elaborar un índice de calidad que pueda reflejar una condición de sustentabilidad. Los indicadores seleccionados como buenos predictores de sustentabilidad fueron: contenido de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, relación de absorción de sodio, densidad aparente, infiltración básica y penetrometría a 30 cm de profundidad fuera y sobre la “huella” de tránsito de la maquinaria.

La aplicación del índice elaborado a las dos situaciones enunciadas de manejo de plantaciones de peral, permitió establecer se observó que los suelos con manejo orgánico presentan una marcada tendencia a tener mejores valores del índice elaborado que los suelos con manejo convencional.

Palabras clave

Manejo del suelo orgánico, manejo del suelo convencional, calidad de suelos, índice, sustentabilidad.

ABSTRACT

The Alto Valle de Río Negro is an important fruit growing region that positions Argentina as the leading producer of pears in the southern hemisphere and the world's leading exporter. Soils supporting this production have steadily improved since the advent of irrigation. However, there are a number of complications resulting from the passage of the machines at a time when the soil water content is high. The land management in pear tree plantations can be framed in two systems "organic" and "conventional". Organic systems maintain a permanent vegetation cover on the soil surface throughout the year, while in the conventional systems the first few centimeters of soil are usually removed in late winter in order to carry out the passive fight against late frosts.

Worldwide, there is a concern about the need for efficient and objective methods to assess soil quality, defined by their ability to function within the limits of natural or cultivated ecosystems, maintain productivity and promote plant and animal health, maintain or improve water and air quality, and sustain the health and human habitation. The objectives of this study were to select a range of soil properties or indicators in order to develop a quality index that can reflect a condition of sustainability. The indicators selected as good predictors of sustainability were organic matter content, pH, electrical conductivity, sodium absorption ratio, bulk density, basic infiltration and penetrometer at 30 cm depth outside and on the "footprint" of transit machinery.

The application of the soil quality index to the two referred management situations, allowed us to establish that the soils with organic management show a marked tendency towards better index values than soils with conventional management.

Keywords:

Organic soil management, conventional soil management, soil quality, index, sustainability.

RIASSUNTO

L'Alto Valle de Río Negro è una importante regione frutticola che posiziona alla Argentina come il primo produttore dell'emisfero sud ed il primo esportatore di pere del mondo. I terreni che sostengono questa produzione sono migliorati costantemente dopo l'avvento dell'irrigazione. Comunque ci sono una serie di complicazioni risultato del passaggio delle macchine nel momento in cui il suolo è con alto contenuto d'acqua. La gestione del suolo delle piantagioni di pere può essere inquadrata in due sistemi, "organico" e "convenzionali". I sistemi organici mantengono una copertura vegetativa permanente sulla superficie del suolo durante tutto l'anno, mentre nei convenzionali di solito sono rimossi i primi centimetri in tardo inverno, al fine di rendere la lotta passiva contra le gelate tardive.

A livello mondiale, si parla della necessità di metodi efficaci e obiettivi per valutare la qualità del suolo, definita come la loro capacità di funzionare entro i limiti degli ecosistemi naturali o coltivate, mantenere la produttività e promuovere la salute delle piante e degli animali, mantenere o migliorare la qualità dell'acqua e dell'aria, e sostenere la salute e abitazione umana. Gli obiettivi di questo studio sono stati selezionare una serie di proprietà del suolo o indicatori, per sviluppare un indice di qualità, che può riflettere una condizione di sostenibilità. Gli indicatori selezionati come buoni predittori di sostenibilità sono il tenore di sostanza organica, pH, conducibilità elettrica, assorbimento rapporto sodio, densità apparente, infiltrazione basica e penetrometria a 30 cm di profondità al di fuori e sulla "impronta" delle macchine di transito.

L'applicazione dell'indice elaborato alle due situazioni di gestione delle piantagioni di pera, ha permesso di stabilire che i terreni con la gestione "organica" hanno una notevole tendenza ad avere migliori valori di indice che quelli con gestione "convenzionale".

Parole chiave:

Organico di gestione del suolo, gestione del suolo convenzionali, qualità del suolo, indice, sostenibilità.

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Importancia de la temática.....	2
1.2 Objetivo general.....	5
1.3 Objetivo específico.....	5
1.4 Hipótesis de trabajo.....	5
2 ANTECEDENTES.....	6
2.1 Suelos.....	6
2.2 La calidad de los suelos.....	7
2.2.1 Calidad de suelos.....	7
2.2.2 Implicancia práctica de la calidad del suelo.....	8
2.2.3 Salud de los suelos.....	11
2.2.4 Indicadores.....	12
2.2.4.1 Características de los indicadores.....	12
2.2.4.2 Selección de los indicadores.....	14
2.3 La sustentabilidad.....	14
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Área de estudio.....	16
3.2 Procedimiento metodológico.....	17
3.2.1 Determinaciones a campo.....	18
3.2.2 Determinaciones de laboratorio de suelos.....	18
3.2.2.1 Determinaciones para 0-10 y 10-20 cm.....	19
3.2.2.2 Determinaciones para 0-10 cm.....	19
3.2.3 Análisis foliar.....	19
3.3 Selección de los indicadores.....	19
3.4 Determinación del índice de calidad de suelos.....	20
3.5 La variable respuesta.....	21
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1 Selección de un conjunto de indicadores de suelos.....	23

4.1.1 Selección por criterio estadístico.....	23
4.1.2 Selección de acuerdo a las características prácticas de un indicador....	24
4.1.3 Selección por criterio agronómico.....	26
4.2. Indicadores químicos.....	27
4.2.1 Materia orgánica (MO).....	27
4.2.2 pH.....	29
4.2.3 Conductividad eléctrica (CE).....	31
4.2.4 Relación de absorción de sodio (RAS).....	32
4.3 Indicadores físicos.....	34
4.3.1 Densidad aparente (Dap).....	34
4.3.2 Infiltración básica (Ib).....	37
4.3.3 Presión fuera de la huella a 30 cm (PFH ₃₀).....	39
4.3.4 Presión sobre la huella a 30 cm (PSH ₃₀).....	41
4.4 Integración de los indicadores seleccionados en un índice de calidad de suelos (ICS).....	45
4.5 Comparación a través del índice de calidad de suelos de las dos situaciones de manejo de suelos con frutales de pera, convencional y orgánico.....	47
4.5.1 Valoración general por índice de calidad de suelos (ICS).....	47
4.5.2 Análisis del ICS a través de gráficos.....	48
4.5.3 Análisis del ICS químico.....	50
4.5.4 Análisis del ICS físico.....	51
4.5.5 Interacción de los indicadores por manejo.....	53
4.5.5.1 Manejo orgánico.....	53
4.5.5.2 Manejo convencional.....	54
5 CONCLUSIONES.....	58
6 BIBLIOGRAFÍA.....	61
7 ANEXO.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Total de determinaciones realizadas a campo y en laboratorio.....	17
Tabla 4.1	MO, valor indicador y diferencia de MO e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	28
Tabla 4.2	pH, valor indicador, y diferencia de pH e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	30
Tabla 4.3	CE (dS/m), valor indicador y diferencia de CE (dS/m) e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	32
Tabla 4.4	RAS, valor indicador, y diferencia de RAS e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	33
Tabla 4.5	Dap (g/cm ³), valor indicador y diferencia de indicador, discriminado por chacra y manejo. Entre paréntesis se mencionan las texturas correspondientes.....	35
Tabla 4.6	Valores de indicador promedio para cada textura según los tratamientos y número de casos.....	36
Tabla 4.7	Ib (mm/h), valor de indicador y diferencia de Ib (mm/h) e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	37
Tabla 4.8	PFH ₃₀ (MPa), valor de indicador y diferencia de PFH ₃₀ (MPa) e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	40
Tabla 4.9	PSH ₃₀ (MPa), indicador y diferencia de PSH ₃₀ e indicador, discriminado por chacra y manejo.....	43
Tabla 4.10	Valores mínimos, medios y máximos de ICS para los tratamientos orgánico y convencional.....	47
Tabla 4.11	Cantidad de chacras clasificadas por manejo y por sustentabilidad de acuerdo a su ICS.....	47
Tabla 4.12	Índice de Calidad de Suelos para el total de chacras discriminadas por tratamiento y diferencia de los valores por pares de chacras.....	48
Tabla 4.13	Resumen de los valores de indicadores para los ocho indicadores y para los dos tratamientos. En negrita los valores que están por debajo del 0,5 limitante por sustentabilidad. En infiltración básica se denotan con signo (-) o (+) según haya dado déficit o exceso respectivamente.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Ubicación de los 22 establecimientos sobre el Alto Valle de Río Negro donde se realizó el estudio.....	16
Figura 3.2	Ejemplo de la representación gráfica de las curvas modeladas, recta y cuadrática.....	21
Figura 4.1	Componentes principales para el total de variables utilizadas.....	23
Figura 4.2	Correlación de la conductividad eléctrica, pH, RAS y MO medidas a las profundidades de 0 – 10 y 10 – 20 cm.....	24
Figura 4.3	Resistencia a la penetración (MPa) sobre y fuera de la huella en función de la profundidad (cm) discriminado por manejo.....	25
Figura 4.4	Diferencia en % de la humedad edáfica observada y la capacidad de campo calculada.....	26
Figura 4.5	ICS por orden creciente para el total de chacras evaluadas.....	49
Figura 4.6	ICS por pares de chacras evaluadas.....	50
Figura 4.7	Nivel creciente de ICS químico para las 22 chacras.....	50
Figura 4.8	Comportamiento de los tratamientos orgánico y convencional de acuerdo al ICS químico.....	51
Figura 4.9	Nivel creciente de ICS físico para las 22 chacras.....	52
Figura 4.10	Comportamiento de los tratamientos orgánico y convencional de acuerdo al ICS físico.....	52
Figura 7.1	Manejo orgánico.....	66
Figura 7.2	Manejo convencional.....	66
Figura 7.3	Extracción de muestra para determinar densidad aparente.....	67
Figura 7.4	Determinación de infiltración básica.....	68
Figura 7.5	Determinación de respiración del suelo.....	69
Figura 7.6	Determinación de penetrometría.....	70
Figura 7.7	Recta de conversión del porcentaje de materia orgánica a la escala de su indicador.....	76
Figura 7.8	Recta de conversión del pH a la escala de su valor de indicador.....	76
Figura 7.9	Recta de conversión de la conductividad eléctrica (dS/m) a la escala de su valor de indicador.....	77
Figura 7.10	Recta de conversión de la RAS a la escala de su valor de indicador.....	77
Figura 7.11	Recta de conversión de la densidad aparente (g/cm ³) de texturas finas a la escala de su valor de indicador.....	78
Figura 7.12	Recta de conversión de la densidad aparente (g/cm ³) de texturas gruesas a la escala de su valor de indicador.....	78

Figura 7.13	Recta de conversión de la infiltración básica (mm/h) a la escala de su valor de indicador.....	79
Figura 7.14	Recta de conversión de la penetrometría fuera de la huella a los 30 cm de profundidad (MPa) a la escala de su valor de indicador.....	79
Figura 7.15	Recta de conversión de la penetrometría sobre de la huella a los 30 cm de profundidad (MPa) a la escala de su valor de indicador.....	80

SIGLAS, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

‰: porcentaje

Bin(s): cajón donde se vuelca la fruta cosechada y se transporta a destino.

BM: Banco Mundial

CE₀₋₁₀: Conductividad Eléctrica de 0 – 10 cm

Dap: Densidad Aparente

dS/m: deciSiemens por metro

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), siglas de Food and Agriculture Organization

FMI: fondo monetario internacional

g/cm³: gramo por centímetro cúbico

Ib: Infiltración Básica

ICS: Índice de calidad de suelos

mm/h: milímetro por hora

MO₀₋₁₀: Materia Orgánica de 0 – 10 cm

Mpa: megaPascal

PFH₃₀: Presión Fuera de la Huella a 30 cm

pH₀₋₁₀: pH de 0 – 10 cm

PSH₃₀: Presión Sobre de la Huella a 30 cm

RAS₀₋₁₀: Relación de Absorción de Sodio de 0 – 10 cm

SENASA: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia de la temática

Desde su inicio efectivo en la producción frutícola, allá por 1930, una vez finalizadas las obras del sistema integral de riego, el Alto Valle del Río Negro, ha ido posicionándose como una importante zona productora de frutas en la cual se cultivan principalmente perales y manzanos (82,2% de la superficie regada) (Blanco, 1999; CAR, 2005). Hoy, tras un crecimiento del 32% en la superficie cultivada de peras en los últimos 12 años (Boltshauser y Villarreal, 2007) es un área exportadora por excelencia, ubicando a Argentina como principal productor del hemisferio sur y primer exportador de peras del mundo. (FAS. USDA, 2008).

El material originario a partir del cual han evolucionado los suelos que sostienen esta producción corresponde a arenas, limos y arcillas de origen fluvio-glacial. A estos depósitos del río se suman los movimientos de suelos realizados para nivelación en virtud de la sistematización para la obra de riego. Sin embargo pueden agruparse en tres tipos generales de suelos, dispuestos a lo ancho del valle, desde las terrazas más recientes, ribereñas al río hasta las más altas y antiguas denominadas vulgarmente "bardas": texturas arenosas y de pH neutros; texturas francas, franco arcillosas y salino sódicos; texturas franco a franco-arcillosas y pH neutro y alcalino (CFI, 2008).

Con un total de 51.874 has sistematizadas en Alto Valle, el riego característico de la zona es por manto (CAR, 2005). Esta posibilidad de aplicación de agua de riego, ha permitido suplir el déficit hídrico para la zona, que con una evapotranspiración de 1.232 mm/año, ha pasando de un régimen hídrico climático normal de 200 mm/año a aportes de más de 2.500 mm/año, generando como contrapartida el uso irracional de los recursos agua y suelo. (Bestvater y Casamiquela, 1983; Casamiquela, *et al.*, 1984; Rodríguez y Muñoz, 2006).

Bestvater y Casamiquela en 1983 ya daban cuenta de la preocupación regional por efectos los producidos a partir de la desaprensión con que se realizan los riegos: anchos y largos de melgas sin considerar aspectos de la física del suelo lo que resulta en altas o bajas dotaciones, falta de mantenimiento de los sistemas de conducción, excesos de agua en meses de poco consumo y consecuentemente aumento de la capa freática, lavado de nutrientes, degradación de los suelos, compactaciones, pérdida de cultivos en áreas de drenaje impedido, y tendencia progresiva hacia la salinización y/o alcalinización.

La necesidad y urgencia de las tareas tradicionales de los frutales (pulverizaciones sanitarias, lucha pasiva contra heladas, cosechas, cortes mecánicos de malezas) generan la coincidencia en el tiempo de los riegos y el paso de la maquinaria, lo que produce condiciones propicias para densificación del perfil del suelo. Un ejemplo claro es lo que sucede durante la época de heladas tardías o primaverales en las cuales se labra el suelo con doble pasada de rastra excéntrica, seguida por una pasada de rolo compactador para despojarlo de malezas y lograr un suelo limpio y compactado, para luego regar como método pasivo de control, lo cual trae consecuencias negativas sobre el sistema suelo-planta como son el adelanto de la floración, la falta de oxígeno a nivel radicular, disminución de la absorción de nutrientes y agua, cambios microbiológicos y consecuentes aumentos de niveles de sustancias tóxicas para la raíces, multiplicación de agentes patógenos (Sánchez, 1999).

Se puede clasificar los sistemas de producción en dos grandes grupos, convencional y orgánico (Figuras 7.1 y 7.2 en el anexo).

Ambos sistemas presentan manejos de suelos diferenciales. En el sistema convencional se utiliza como herramientas de labranza la rastra de discos y el cincel, los cuales traen generan dos inconvenientes, la desnivelación y la compactación o formación de capas densificadas por debajo de la profundidad de trabajo debido al peso de la maquinaria, y a la pérdida por oxidación de la materia orgánica (Sánchez, 1999). En contraste, en el manejo orgánico se utiliza solo la labranza vertical con el uso de cincel para descompactar, pues se prioriza la existencia de cobertura permanente (Sánchez, 1999). Una distinción importante que surge de este modo de labrar el suelo, es la ausencia de raíces en los primeros 10 cm en el manejo convencional, en contraste con el manejo conservacionista en el cual se encuentra mayor distribución de raíces sobre el estrato superficial del suelo (Aruani y Sánchez, http://www.inta.gov.ar/altovalle/actividad/investigacion/fruticultura/Fertilizar_raices.pdf)

También existen diferencias en cuanto a fertilización en estos sistema: mientras en convencional se aplican fertilizantes químicos de rápida liberación de nutrientes con los riesgos que conlleva la rápida pérdida por lixiviación de nitratos hacia la capa freática y consecuente contaminación (Aruani *et al.*, 2007), en orgánico se hacen aplicaciones solamente de guanos (Sánchez, 1999) y/o fertilizantes orgánicos enriquecidos con minerales, de lenta disponibilidad.

Los dos sistemas comparten el tipo de riego por manto, el uso de la maquinaria que genera el mayor efecto de compactación al suelo (la “pulverizadora” con más de 2 KN soportados por finas ruedas y lentos desplazamientos (Di Prinzi *et al.*, 1996 en Di Prinzi *et*

al., 1998; Draghi, 2003; Draghi, 2005), el paso del tractor con la carga de la cosecha, y el rastreado y riego para la lucha contra heladas, cuando no se cuenta con métodos activos de control (Tassara, 2007).

Las diferentes formas de manejar el suelo y el impacto que posee la producción convencional de alimentos han generado preocupación por minimizar la degradación del recurso y lograr una gestión sostenible de aquel que tiene un uso agrícola. Esta situación conlleva a una renovada atención por determinar la calidad del suelo y su evolución.

El suelo, es un recurso no renovable y las áreas bajo riego son susceptibles a la degradación física y química si no se adoptan medidas conservacionistas (Sánchez, 1999).

Estas diferencias de manejo y los riesgos que generan los mismos plantean una oportunidad para lograr una herramienta que permita discernir cuáles son aquellas tareas que posibiliten mantener el recurso suelo y con ello la productividad, sin descuidar el bienestar del agroecosistema frutícola valletano.

En este contexto existen razones que justifican la generación de un conocimiento más acabado de las características edáficas modificadas por manejo en el Alto Valle de Río Negro, de cara al futuro y bajo el paradigma de la producción sustentable, pues es una zona sobre la que se centran expectativas por su producción intensiva, y por tener sus suelos sometidos a grandes aportes de agua de riego, lo que hace necesario el control de su evolución.

Esta tesis pretende contribuir y profundizar el conocimiento de esta temática, dada la importancia de esta problemática en el Alto Valle de Río Negro, motivo por el cual se plantean los siguientes objetivos.

1.2 Objetivo general

Seleccionar un conjunto de indicadores de sustentabilidad de suelos e integrarlos en un índice de calidad de suelos para la producción de peras bajo riego del Alto Valle de Río Negro.

1.3 Objetivo específico

Utilizar este índice como predictor de sustentabilidad para comparar dos situaciones de manejo de suelos –convencional y orgánico- en cultivos de frutales de pera.

1.4 Hipótesis de trabajo

Suelos con tratamiento cultural enmarcado en la producción de tipo orgánica presentan valores de índice de calidad de suelos mayores que aquellos culturalmente trabajados en forma convencional.

2 ANTECEDENTES

2.1 Suelos

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre que por su contacto con la atmósfera ha sufrido cambios físicos, químicos, biológicos, por acción del clima, el relieve, los organismos y el hombre, a lo largo de los tiempos (Jenny, 1941). Así, ha resultando una mezcla de materiales inorgánicos y orgánicos, que guarda gran actividad biológica y es arraigo y sustento, junto con el agua, de la vida sobre la tierra.

Desde los tiempos en que el hombre comenzó a utilizar el suelo para la agricultura, se habla de la necesidad de ser cuidadosos con el mismo enfatizando a su vez las virtudes con que cuenta cada tipo de suelo.

El suelo es dinámico, vivo, un cuerpo natural que desempeña múltiples funciones en los ecosistemas terrestres. Existe un intercambio continuo de moléculas entre las fases sólida, líquida y gaseosa mediadas a su vez por procesos físicos, químicos y biológicos (Doran & Parkin, 1994). Aunque el suelo tiene una amplia gama de posibles funciones, en la actualidad se identifican tres de especial importancia y significancia y que son de tipo global: como medio para las plantas y la producción biológica, como buffer o filtro para atenuar o mitigar contaminantes ambientales y patógenos; y como promotor de la salud de plantas, animales e indirectamente la salud humana (Doran & Parkin, 1994; Carter *et al.*, 1997).

En la actualidad, numerosos trabajos científicos han reconocido la importancia de categorizar suelos de acuerdo a sus características intrínsecas y al uso que de éste se haga, en especial cuando se trata de suelos con propósitos agrícolas (Carter *et al.*, 1997) y en vista de que la degradación y pérdida de tierras agrícolas por erosión, sobrepastoreo, deforestación, salinización, contaminación o desertificación; son problemas que acarrear gran preocupación, comparable con temas como el cambio climático, la disminución de la capa de ozono o la pérdida de especies. (Olderman, 1994; Lal, 1998 en Doran & Zeiss, 2000).

A través de pactos internacionales, diferentes países reconocen y acuerdan que, “el mejor modo de tratar las cuestiones ambientales es con la participación de todos los ciudadanos interesados, en el nivel que corresponda” (Principio 10. Rio 92) pues para alcanzar el desarrollo sostenible y una mejor calidad de vida los estados deberían reducir y

eliminar las modalidades de producción y consumo insostenibles y fomentar políticas demográficas apropiadas (Principio 8. Río 92).

Existen en todo el mundo distintas clasificaciones de los suelos (taxonómica, por capacidad de uso, de acuerdo a su aptitud para ser regados, particular de algunos países, etc.), pero la realidad de estos últimos 30 años indica que se están evaluando los mismos a través del uso de parámetros indicadores de sustentabilidad, los cuales enfatizan tanto características inherentes al suelo, como aquellas que se presentan en los primeros 20 cm. y describen el estatus de un suelo específico resultante de su uso y manejo (Karlen *et al.*, 2003).

En este sentido, los resultados de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, conocida como Río92, y especialmente las metas y acciones adoptadas por los Convenios Internacionales contenidas en la Agenda 21, han mostrado la necesidad de desarrollar y aplicar métodos para determinar el estado del medio ambiente y seguir sus cambios a nivel global, regional y local. En este marco surgen los indicadores e índices de calidad, los cuales permiten obtener resultados inmediatos para comparar sistemas de manejo, monitorear la calidad de suelos a lo largo del tiempo, y diagnosticar posibles problemas debidos al uso y manejo de las tierras.

2.2 La calidad de los suelos

2.2.1 Calidad de suelos

El impulso por definir y determinar calidad de suelo, de muchas maneras viene derivado de la preocupación de la sociedad en cuanto a salud total del ambiente (Carter, 2002).

Esto viene en reconocimiento de que la actividad humana ha alterado muchos ecosistemas y la condición de los suelos alrededor de mundo. Algunos cambios han mejorado el suelo para su uso en agricultura, tal es el caso de las zonas de regadío, pero otros cambios han afectado la habilidad del suelo para proveer a las mismas necesidades humanas como ha ocurrido y ocurre con la ruptura de ecosistemas de selvas o bosques (Granatstein & Bezdicek, 1992).

La noción de calidad de suelos ha ido evolucionando en el tiempo. Los primeros conceptos se referían principalmente a las diversas propiedades que contribuyen a la

productividad del mismo, con poca consideración de la definición de la calidad del suelo en sí misma. Claramente el solo análisis de sus propiedades y su descripción, no puede proporcionar una medida de la calidad a menos que estas propiedades evaluadas estén calibradas o relacionadas con el papel o la función que se le asigne al suelo (Carter, 1996).

En forma general calidad de suelo es la “capacidad de funcionar de un tipo específico de suelo” y se evalúa midiendo un grupo de propiedades para estimar la capacidad del mismo para realizar funciones básicas (Por ej.: mantener la productividad, almacenar y reciclar nutrientes, filtrar y tamponar contaminantes, regular el flujo de agua, etc.) (Soil quality institute, 1998)

Larson & Pierce en 1991 dieron una primera definición de calidad de suelo como “la capacidad de un suelo de funcionar dentro de los límites de un ecosistema y de interactuar positivamente con el ambiente externo”. Luego, distintos autores fueron puliendo y completando la definición por lo que en forma clara y resumida puede decirse que calidad de suelo es su capacidad para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas naturales o manejados, para mantener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, promover la sanidad vegetal y animal y sostener la salud y habitación humana (Doran & Parkin, 1994; Doran, 1998).

Agronómicamente calidad de suelos fue definida por Gregorich & Acton en 1995 (citado por Carter *et al.*, 1997) como la “capacidad o aptitud de un suelo para soportar el crecimiento de un cultivo sin resultar en la degradación del suelo o el daño del ambiente“, por lo tanto es la ciencia agrícola la que desarrolla, se interesa y usa más frecuentemente el conocimiento de los atributos del suelo como indicadores para modelos de su calidad. (Burger & Kelting, 1994; Kelting *et al.*, 1999). Por ello, el concepto de calidad de suelo tiene dos partes: una intrínseca inherente a la capacidad del suelo en relación al crecimiento de los cultivos y, otra parte dinámica influenciada por quien maneja la tierra (Carter, 2000).

2.2.2 Implicancia práctica de la calidad del suelo.

Más allá del concepto, la calidad del suelo tiene gran implicancia práctica. Uno de sus usos como indicativo de condición es la evaluación comparativa. Esto es, en un momento dado se toman situaciones de sistemas alternativos (Reganold, 1992; Vogeler, 2006), y se ven diferencias de magnitud en los parámetros considerados, por lo que se tiene a partir de la performance de cada planteo o manejo, una medida de la sostenibilidad relativa de cada sistema Larson & Pierce (1994). También se puede evaluar una respuesta en distintas situaciones como es el caso en que se estudiaron siete suelos tropicales en

distintos países con el fin de ilustrar el uso del concepto de calidad de suelos para exploración, evaluación del impacto potencial de la degradación del suelo y mejoramiento (Bouma *et al.*, 1998 citado en Bouma, 2002).

Este tipo de evaluación tiene algunos inconvenientes: da poca información sobre las tendencias en la calidad del suelo, de las tasas de cambio de calidad en el tiempo, o acerca de los procesos que crearon la condición medida; tampoco es posible saber si el sistema tiene pobres resultados por mal diseño o existe una explotación inestable; mientras que puede ser útil si de alguna manera se tienen datos iniciales (Carter *et al.*, 1997; Larson & Pierce, 1994) se puede asociar con un potencial de producción o un comportamiento ambiental, o se hace referencia o compara con una situación prístina o nativa si cabe la posibilidad (Granatstein & Bezdicek, 1992).

Suelos formados bajo vegetación nativa usualmente tienen altos contenidos de materia orgánica, y otros atributos considerados óptimos para los cultivos. En este caso, el suelo nativo provee una buena referencia para calidad de suelos. Por lo tanto existe la posibilidad de tomar como situaciones prístinas o semi prístinas aquellos lugares que nunca se han labrados ni cultivados, como campos nativos o aquellos que desde hace mucho tiempo no están siendo trabajados o se utilizan con pasturas permanentes, siempre que estén bajo iguales condiciones climáticas, edáficas, etc. y que difieran en el manejo (Granatstein & Bezdicek, 1992; Cantú *et al.*, 2007). Estos pueden dar idea del potencial de un suelo determinado. Sin embargo, no todos los suelos o situaciones cuentan con una contraparte con la cual referenciarse, porque los cambios producidos han generado diferencias irremediables. Un caso extremo es el uso de suelos del ecosistema amazónico, en los que los cambios tras el paso de la agricultura son muy drásticos (Granatstein & Bezdicek, 1992), con gran empobrecimiento de las propiedades del suelo y con escasas o nulas posibilidades de recuperación por mas voluntariosos que sean los cambios en el manejo; o casos en los que el riego ha transformado la vida de un suelo, como ha sucedido en Israel tras el máximo aprovechamiento de los escasos recursos hídricos y de suelos cultivables (Israel MFA, <http://www.mfa.gov.il/MFA>).

Ahora bien, teniendo en cuenta que el suelo es un sistema dinámico, la calidad del suelo es un concepto dinámico indicador de su estado, es decir que considera en el tiempo aquellas propiedades del suelo que pueden cambiar en respuesta al uso y manejo del hombre. Por ejemplo la materia orgánica total puede responder al manejo en años o décadas, el pH o la materia orgánica lábil puede cambiar en el término de meses o años, en tanto que las poblaciones microbianas, la relación de nutrientes o la macroporosidad pueden modificarse en días y hasta en horas (Larson & Pierce, 1994; Carter *et al.*, 1997).

Esta secuencia en respuesta al manejo requiere de un monitoreo permanente de la determinación de la calidad de un suelo. Este monitoreo es importante, aunque los datos tendrán provecho si se los utiliza en la toma de decisiones, en la gestión para corregir las deficiencias o mejorar el manejo y la calidad del recurso suelo (Carter *et al.*, 1997).

Como un sistema de manejo es sustentable solo cuando se mantiene o mejora la calidad de sus suelos, este monitoreo o evaluación dinámica propuesta por Larson & Pierce (1994), servirá como medida de la sustentabilidad si es útil para implementar mejoras. Así, un sistema de manejo es evaluado por la medida de los atributos de la calidad del suelo a lo largo del tiempo. De todos modos esto no invalida evaluar comparativamente las dinámicas de distintos sistemas de manejo combinando los dos tipos de evaluaciones, comparativa y dinámica (Larson & Pierce, 1994).

Existen dos aspectos en la dinámica de la calidad de suelos a considerar en un manejo sustentable. El primero se refiere a cómo cambia la calidad de un suelo respecto del manejo, y el segundo se refiere al diseño y al control de los procesos por los que los sistemas de manejo afectan la calidad de suelos y por lo tanto la sustentabilidad (Larson & Pierce, 1994).

Pero más allá de cómo se evalúen determinadas características de un lugar o varios lugares, proyectadas en el tiempo o no, es importante determinar cuál es la situación de referencia que permita discernir, evaluar y remediar.

Por lo tanto, en lo que respecta a la variación en la calidad del suelo, los estándares o los límites son necesarios para evaluar si los cambios registrados están dentro de la variación natural, o si estos están relacionados con prácticas de gestión que puede requerir cambiar si la calidad se deteriora. (Carter *et al.*, 1997). Los cambios críticos en los parámetros pueden así identificarse, evaluarse y tomarse en virtud de esto, las acciones correctivas para ajustar el sistema de manejo. (Larson & Pierce, 1994).

Larson & Pierce en 1994 proponen tres diferentes funciones asociadas con una buena calidad de suelos. Ellas incluyen:

- funcionar como medio para el crecimiento de la planta,
- regular y particionar el flujo de agua a través del medio ambiente,
- servir como un filtro ambiental.

Para realizar estas funciones, ellos establecen que una alta calidad de suelos acepta, sostiene y libera nutrientes y agua, promueve y sostiene el crecimiento de raíces, mantiene adecuado el hábitat biótico del suelo, responde al manejo y resiste la degradación (Larson & Pierce, 1994 citados por Hussain, 1999).

En resumen, calidad de suelos es un concepto útil para reconocer áreas problemáticas (Doran & Zeiss, 2000) y en función de ello trabajar en el desarrollo de medidas correctivas. Así mismo puede utilizarse para determinar la factibilidad de uso de nuevas áreas para la puesta en producción, asociadas a algún cultivo.

La calidad del suelo tiene además un componente ineludible, el social.

Es posible que existan distintas visiones del mismo concepto. Las funciones de un suelo y consecuentemente la medición de su calidad, puede dar divergentes posturas, válidas ambas, como puede ocurrir entre un productor que busca altos rendimientos y un investigador que pone su mirada en la sustentabilidad del recurso. Estos objetivos no siempre son coincidentes, al menos no hasta tanto los sistemas logran estabilizarse. (Carter *et al.*, 1997).

De todos modos, es indiscutible la valorización de la determinación de la calidad de suelos como herramienta para la recomendación, siendo el nexo entre quien investiga, el extensionista y quien llevará a cabo las tareas de mejora o mantenimiento de las propiedades del suelo (Arshad & Martin, 2002), por cuanto involucra los conceptos anteriormente mencionados, monitoreo y regulación. (Carter *et al.*, 1997; Doran & Zeiss, 2000).

2.2.3 Salud de los suelos

Está reconocido que existe una relación indirecta entre salud del suelo y salud animal y del hombre, que se traduce a través de la calidad de los cultivos, considerando principalmente equilibrio y disponibilidad de nutrientes. Una aproximación estrecha entre salud del suelo y calidad de suelos puede verse considerando la habilidad para manejar stress de un suelo o para recuperar el equilibrio luego de una perturbación (Carter *et al.*, 1997). Así un suelo podría tener pobre calidad de acuerdo a un determinado propósito, pero ser saludable.

En forma análoga a la definición de calidad de suelo Doran *et al.*, (1996) definen salud del suelo como “la capacidad continua de un suelo para funcionar como un sistema

viviente vital, dentro de los límites y uso de la tierra de un ecosistema, para sostener la producción biológica, mantener la calidad ambiental del aire y agua y promover la salud de plantas, animales y humanos” (Carter *et al.*, 1997).

Existen trabajos que consideran los dos términos como sinónimos, no sin antes mencionar que la calidad de suelo se asocia a su aptitud para un uso específico, en tanto que la salud se considera en un sentido mas amplio indicando la capacidad del suelo para funcionar como un sistema vivo que sostiene la productividad biológica, promueve la calidad del medio ambiente y mantiene la sanidad vegetal y animal y en definitiva, humana. Bajo esta consideración salud de suelos es sinónimo de sustentabilidad (Doran & Zeiss, 2000).

Como el aire o el agua, la calidad el suelo tiene un profundo efecto sobre la salud y la productividad dado un ecosistema y un ambiente relacionados. Sin embargo, a diferencia del aire o el agua para los cuales existen estándares de calidad universales, la calidad del suelo tiene dificultades para ser definida y cuantificada, porque para cada sistema productivo interesan distintas características en relación directa al cultivo y al suelo que lo sostiene (Doran & Parkin, 1994).

2.2.4 Indicadores

Los indicadores de calidad de suelo fueron pensados como instrumento de control para evaluar sustentabilidad en agricultura con el fin de que reflejen, midan y adviertan cambios en los procesos, proveyendo resultados inmediatos para comparar sistemas de manejo, monitorear la calidad del suelo a lo largo del tiempo, y para diagnosticar posibles problemas debidos al uso y manejo de las tierras. Carter *et al.*, (1997) en S Q I, (1998).

2.2.4.1 Características de los indicadores

Los indicadores, atributos o propiedades de los suelos, usados en general como una primera aproximación a un modelo de calidad de suelo, pueden identificarse y seleccionarse en base a literatura agrícola (Burger & Kelting, 1999), o a través de la estadística o experiencia (Andrews *et al.*, 2000) y aunque son muchas las propiedades que pueden considerarse es muy importante tener en cuenta algunas características que ayudan en el proceso de elección. Idealmente deben ser:

- fáciles de medir, especialmente pensando que se trata de trabajos a campo y que las herramientas no deben complicar el proceso de toma de muestras y determinaciones in situ,

- ágiles en su obtención,
- limitados en número,
- sensibles ante las distintas prácticas de manejo del suelo y en el tiempo,
- reproducibles. Debe poder ser aplicado por otras personas, en distintos momentos,
- comprensibles: accesible al entendimiento de todos aquellos que intervienen en el proceso que se estudia (investigadores, productor)
- extrapolable a otras situaciones comparables,
- fácil de analizar e interpretar,
- de costo accesible,
- útiles para la gestión de suelos,
- representantes de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

(Lal, 1994; Doran & Parkin, 1994; Carter *et al.*, 1997; Doran & Zeiss, 2000).

Los indicadores pueden aumentar unos y disminuir otros en su magnitud pudiendo mejorar la calidad del suelo. Esta mejora se hace relativa dependiendo del cultivo de que se trate, dados los requerimientos que cada especie tiene para prosperar (Granatstein & Besdick, 1992). Por ejemplo algunos cambios en las propiedades del suelo que mejoran su calidad son un aumento de la materia orgánica, adecuada infiltración, o disminución de la salinidad.

Es factible la elección de las propiedades básicas del suelo que sirvan como indicadores de la calidad del suelo aunque también es complicada, por los muchos factores químicos, físicos y biológicos que se ven involucrados y por sus interrelaciones en el tiempo, espacio e intensidad (Doran & Parkin, 1994).

2.2.4.2 Selección de los indicadores

Como es muy complejo y poco práctico definir la calidad de un suelo en función de todos los atributos pertinentes, para una región o sistema de cultivo, y dado que afortunadamente muchas propiedades están interrelacionadas y se pueden predecir unas con otras, Larson & Pierce en 1991 proponen un set mínimo de indicadores y plantearon que el mismo debe estar estandarizado al igual que sus metodologías para las distintas regiones (Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994)

Se trata de un conjunto mínimo de indicadores necesarios para obtener una medida, una caracterización y una amplia comprensión de los suelos evaluados. Cada conjunto de datos mínimos se va a adaptar a una determinada región o unidad en el mapa de suelos (suelo tipo) y sólo incluye y responde a las propiedades pertinentes a esos tipos de suelos, su sistema agrícola, y usos de esa tierra (Soil Quality Institute, 2001).

Para realizar la selección puede acudir a la experiencia de un entendido, o bien puede optarse, para mayor facilidad, por la estadística a través de análisis de componentes principales, correlaciones múltiples, análisis de factor, de cluster, etc. (Andrews *et al.*, 2002).

Luego, pueden usarse distintas formas de indexar esos indicadores para obtener un solo valor indicador de condición. Pueden ser por sumatoria, multiplicados por un factor, etc.

Cualquiera sea el camino seguido en la elección de los indicadores que formen un índice de calidad de suelo, este será válido si es capaz de hacer visibles los cambios que resulten del manejo y uso del suelo, ayudando en la interpretación o asociación con los resultados productivos, y el bienestar del agroecosistema en general. Por ello es necesario que estén identificadas las técnicas de muestreo, para hacer significativas la evaluación y monitoreo (Arshad & Martin, 2002).

2.3 La sustentabilidad

El concepto de sustentabilidad de un sistema agrícola viene asociado generalmente, al manejo que realiza el productor que es quien tiene y decide por el uso del suelo. El mismo se encuentra inmerso en una situación agroclimática propia de cada lugar que genera a su vez modificaciones. Como estas trascurren en períodos largos de tiempo y en general, el hombre puede realizar pocos esfuerzos para modificarlas, por ello no serán tomadas en cuenta dentro de la definición.

Un manejo será sustentable si es capaz de mantener la estabilidad de la producción y su rentabilidad; adaptando el cultivo al ambiente, a la vez de proteger, conservar y/o mejorar el recurso natural en su dimensión, biótica y abiótica; y mantener el orden social. Por lo tanto es un criterio multidireccional (económico, ambiental y social) que debe ser abordado en simultáneo, porque apunta al equilibrio existente entre todos los componentes del sistema (Larson & Pierce, 1994; Altieri, 1999).

La sustentabilidad es un concepto que debe ser atendido desde todos los ámbitos ya sean estos locales, nacionales o internacionales. Depende de decisiones políticas de cada país y región que entiendan el desafío de resguardar las superficies cultivables para producir más y mejores alimentos. Todo esto como consecuencia de la disminución de las superficies productivas (salinización, desertificación, deforestación, sobrepastoreos, etc) y el aumento de la población mundial estimado para los años venideros por los organismos internacionales competentes (FAO, FMI, BM). Es interesante recordar que parte de la superficie ya cultivada o nueva superficie puesta bajo agricultura deberán destinarse a cultivos productores de biodiesel en los próximos años, merced a las políticas acordadas por las naciones respecto al consumo de combustibles fósiles. (Ley 26.093. SENASA).

Los manejos que pretenden ser sustentables deben encontrar el apoyo de todos los sectores interesados además de la decisión particular del productor, para lograr el éxito. El momento histórico nos plantea una situación de compromiso que es producir o conservar. Ambas no deben considerarse opciones, sino que deben combinarse para lograr el mejor producto: alimentos que en su proceso de obtención no perjudican el recurso que los genera.

En función de las consideraciones anteriormente mencionadas sobre el contexto mundial actual, surge la necesidad de un índice que valore las condiciones de un suelo a fin de preservar, desde hoy y en una proyección a futuro, los recursos disponibles.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El Alto Valle de Río Negro está comprendido entre 38° 40' y 39° 20' de latitud sur y de 66° 50' a 68° 20' de longitud oeste con valores de altitud que van de 200 a 400 metros sobre nivel del mar. Es un valle productivo de más de cien kilómetros de largo y un ancho promedio de 6 kilómetros entre la barda y el río.

En este trabajo se contó con 11 establecimientos (chacras) orgánicos con seis años o más en este sistema de trabajo, (tiempo que lleva la transición de convencional a orgánico, Altieri, 1999), y 11 chacras vecinas de manejo convencionales, ubicadas a lo largo del Alto Valle del Río Negro, en las localidades de General Godoy, Ingeniero Huergo, Cervantes, General Roca y Contralmirante Guerrico, abarcando el territorio en un largo de 46 km y un ancho de 4 km.

Al no existir situación prístina para este estudio se tomará como estado inicial esta primera evaluación, la que podrá servir para futuras evaluaciones en el tiempo.

Los distintos establecimientos fueron denominados por pares orgánico y convencional con las letras desde la A hasta la K como se observa en la Figura 3.1.

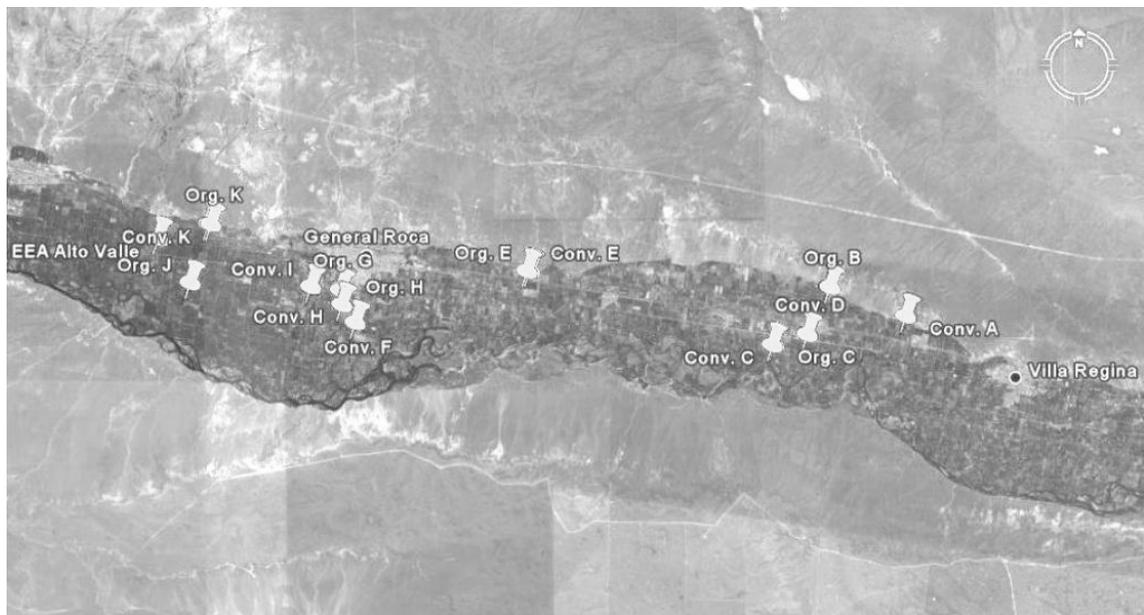


Figura 3.1. Ubicación de los 22 establecimientos sobre el Alto Valle de Río Negro donde se realizó el estudio.

3.2 Procedimiento metodológico

En cada establecimiento orgánico se escogió un cuadro implantado con perales y en forma análoga se seleccionó otro cuadro de peras de una chacra vecina con manejo convencional. Ambos cuadros se situaron lo mas cercanos posible, tratando de minimizar variaciones en las propiedades edáficas.

En cada sitio se eligió el lugar representativo para los muestreos y determinaciones *in situ* que estuviera alejado de la influencia de cortinas rompevientos u otras especies frutales.

Los muestreos y determinaciones se realizaron sobre una calle central y sus dos laterales como repeticiones y en distintos momentos del año con el fin de adecuarlas a las mejores condiciones del suelo (humedad, temperatura). En la tabla 3.1 se mencionan cada una de las determinaciones realizadas.

Tabla 3.1 Total de determinaciones realizadas a campo y en laboratorio.

Determinaciones	
A campo	Infiltración
	Densidad aparente
	Penetrometría
	Respiración
	Profundidad de moteados
De laboratorio para 0-10 y 10-20 cm	Textura
	Materia orgánica
	pH
	Conductividad eléctrica
	Sodio, potasio, magnesio, calcio
	Relación de absorción de sodio
De laboratorio para 0-10 cm	Materia orgánica joven
	Estabilidad estructural
	Nitrógeno total
	Fósforo
Análisis foliar	Nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, magnesio, zinc, hierro, boro, manganeso y cobre.

3.2.1 Determinaciones a campo

En invierno, sobre la calle central, se determinó infiltración utilizando el anillo simple de carga constante que acompaña a la valija edafológica del USDA adaptada por el Instituto de Suelos-CIRN-INTA, teniendo en cuenta que la temporada de riego finaliza hacia el mes de abril y se reanuda en el mes de agosto. A su vez se determinó densidad aparente por el método del cilindro (Coile, 1936) e hicieron los muestreos de suelos a profundidades de 0-10 cm y 10-20 cm para análisis de laboratorio.

Penetrometría y respiración se realizaron en primavera, una vez iniciada la temporada de riego, con el fin de encontrar la condición de capacidad de campo y una temperatura superior a los 15° C en los suelos.

Para penetrometría o resistencia a la penetración se realizaron determinaciones sobre la huella de la maquinaria y fuera de la misma hasta una profundidad de 50 cm. Cada 5 cm de profundidad se determinó también la humedad del suelo por gravimetría. Luego para corroborar la situación mas aproximada a capacidad de campo luego de un riego, y con los datos de laboratorio de la textura a los 10 y a los 20 cm, se calculó a través de la siguiente fórmula la capacidad de campo.

$$CC \text{ (Peele)} = 0,48 \times \% \text{ arcilla} + 0,162 \times \% \text{ limo} + 0,023 \times \% \text{ arena} + 2,62$$

(Tomado de Fuentes Yagüe, 1998).

Cada uno de los procedimientos realizados para estas determinaciones a campo se pueden encontrar en el Anexo.

Para determinar profundidad de moteados se cavaron calicatas de hasta 1 m para comprobar si existía algún indicio de actividad reductora por anegamiento a alguna profundidad por encuentro entre la capa freática y la lámina de riego.

3.2.2 Determinaciones de laboratorio de suelos.

Las muestras para análisis de laboratorio a 0 - 10 y 1 - 20 cm se secaron al aire a menos de 30° C y tamizaron con tamiz de 2 mm (10 mesh).

3.2.2.1 Determinaciones para 0-10 y 10-20 cm

- textura, método de Bouyoucos (1927).
- materia orgánica (MO), método de Walkley & Black, 1934 (Jackson, 1982)
- pH, método potenciométrico (Bates 1954, Schafield 1955)
- conductividad eléctrica (CE) (U.S.S.L: Staff 1954)
- sodio, magnesio y calcio (Bower 1952)
- relación de absorción de sodio mediante la fórmula $RAS = Na / \sqrt{(Ca + Mg / 2)}$ (U.S.S.L. Staff 1954)

3.2.2.2 Determinaciones para 0-10 cm.

Con las tres repeticiones de cada sitio para los primeros 10 cm de suelo, se obtuvo una muestra compuesta para determinar:

- materia orgánica joven (MOj) (Galantini, 2005)
- estabilidad estructural, método de mezcla alcohol-agua (Tallarico, 1974)
- nitrógeno total por digestión húmeda y evaluación por el método MicroKjeldahl (Bremner, 1996)
- fósforo, método de Olsen, (1954)
- luego se hizo la relación (%) entre MOj y MO

3.2.3 Análisis foliar

Al finalizar la cosecha, en verano y hacia el mes de febrero, se realizó el muestreo para análisis foliares. Se tomaron 40 hojas del tercio medio de brotes del año con inserción angular sobre la rama, ubicados a una altura de entre uno y dos metros tomados desde el suelo. Estas fueron lavadas con agua y detergente no iónico, enjuagadas en dos oportunidades con agua potable y una tercera vez con agua destilada. Se secaron en estufa a 70° C, y fueron molidas y enviadas a laboratorio especializado.

3.3 Selección de los indicadores

Los indicadores seleccionados fueron el resultado de aplicar tres criterios:

1. Estadístico (Andrews *et al.*, 2002)

Siguiendo la metodología propuesta por Andrews *et al.*, (2002), se llevaron adelante los siguientes pasos:

- a. En base a los valores de *eigenvalues* de la matriz de correlación, se escogieron los componentes principales que presentaron valores mayores a 1 o que explicaban al menos un 5% de la variabilidad.
 - b. Dentro de cada componente principal, se seleccionaron todas aquellas variables que presentaban un “peso” superior al 90 % del valor máximo presente o que superaran un valor de 0,4.
 - c. Se tomaron los dos primeros componentes principales porque entre ambos explican 52,2 % de la variabilidad total.
 - d. Posteriormente, se realizó una tabla de correlaciones entre todas las variables seleccionadas, de estas se tomaron aquellas con baja correlación y luego se chequeó la ausencia de redundancia a través de un análisis de regresión.
2. Por características de los indicadores (Carter *et al.*, 1997; Lal, 1994; Doran & Parkin, 1994, Doran & Zeiss, 2000).
 3. Agronómico (Andrews *et al.*, 2002).

El programa estadístico utilizado fue *InfoStat* (2009).

3.4 Determinación del índice de calidad de suelos

Merced a la matemática fue posible transformar datos con distintos orígenes y distintas unidades (dS/m, %, mm/h, MPa, g/cm²) en números sin unidades y limitarlos a un rango muy pequeño. Con los valores establecidos y tomando como base la metodología de Andrews *et al.*, (2002) se modelaron dos ecuaciones, una recta y una cuadrática, para cada uno de los indicadores elegidos, teniendo en cuenta los valores mínimos, óptimos y máximos requeridos y tolerados por el cultivo. De esta manera los valores obtenidos por laboratorio y determinaciones *in situ*, a través de las curvas, se ven relacionados con una magnitud adimensional contenidos en una escala de cero a uno para cada indicador, pudiéndose relacionar entre sí a través de un mismo rango.

Las curvas $Y = a + b.X$ e $Y = a.X^2 + b.X + c$, se muestran en la Figura 3.2

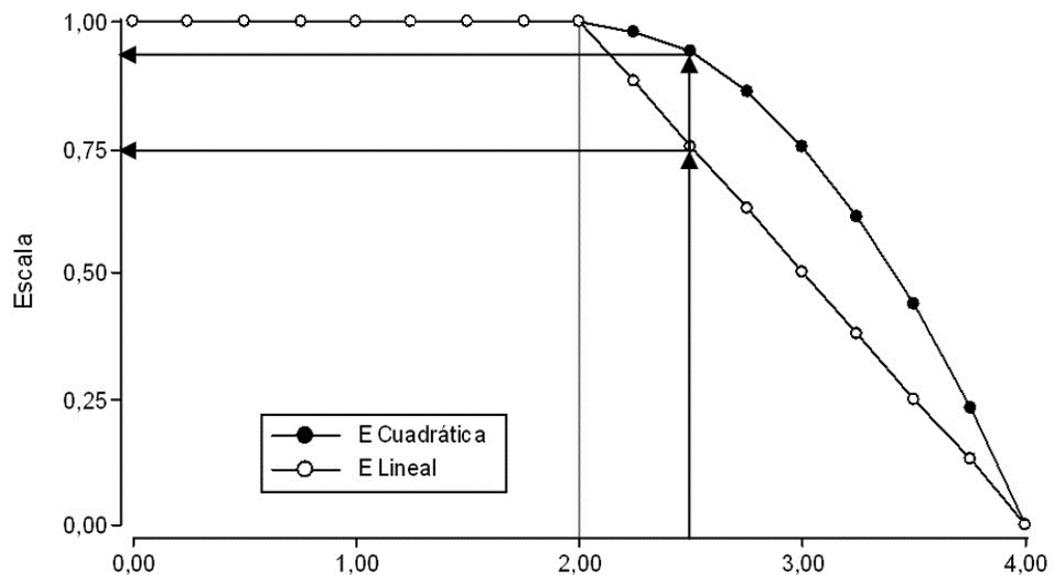


Figura 3.2 Ejemplo de la representación gráfica de las curvas modeladas, recta y cuadrática. (Andrews et al., 2002)

A partir de esta figura puede verse la mayor o menor rigurosidad que cada una le aplica al indicador.

A su vez, para distinguir por sustentabilidad, se establece que el valor de 0,5 para cada indicador es un límite discriminante, determinando entonces la condición de sustentable o no sustentable según se presenten valores por sobre o por debajo del mismo. Este valor fue establecido en virtud de ser un punto de inflexión, un valor medio para cada indicador, que sitúa al mismo en la proximidad de la condición de limitante.

Los valores de los indicadores así logrados se suman para dar valor a un índice.

3.5 La variable respuesta

Como variable respuesta no fue considerado el rendimiento en la elaboración de este índice dado que la evaluación se hizo en un año, sobre montes de pera de distintas variedades y edad, en 22 establecimientos distintos y alejados, complicando la obtención de datos en plena cosecha. Por otro lado el rendimiento depende no solamente de las condiciones edáficas sino también microclimáticas y de manejo de la planta (poda, protección contra heladas tardías, raleo, tratamientos fitosanitarios, aplicación de reguladores de crecimiento, fertilizaciones, reservas de la misma, riego, etc.). Estos motivos generaron dificultades al momento de establecer comparaciones entre situaciones tan

disímiles. Este parámetro sería la variable respuesta por excelencia al poder considerarse varios años de evaluación y situaciones edáficas y de manejo similares.

En función de las consideraciones anteriores se realizaron análisis foliares para ser utilizadas como variables respuesta y tomar conocimiento del estado nutricional de las plantas pertenecientes a cada cuadro muestreado.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Selección de un conjunto de indicadores de calidad de suelos

4.1.1 Selección por criterio estadístico

Siguiendo la metodología propuesta por Andrews *et al.*, (2002), se encontraron siete componentes principales que explican individualmente como mínimo un 5% de la variabilidad encontrada o tienen *eigenvalues* mayor que uno (Anexo Tabla 7.2). En la figura 4.1 se observa el aporte de cada una de las variables en los dos componentes principales más importantes y que fueran seleccionados como los que más explican la variabilidad total del sistema (Anexo Tabla 7.3).

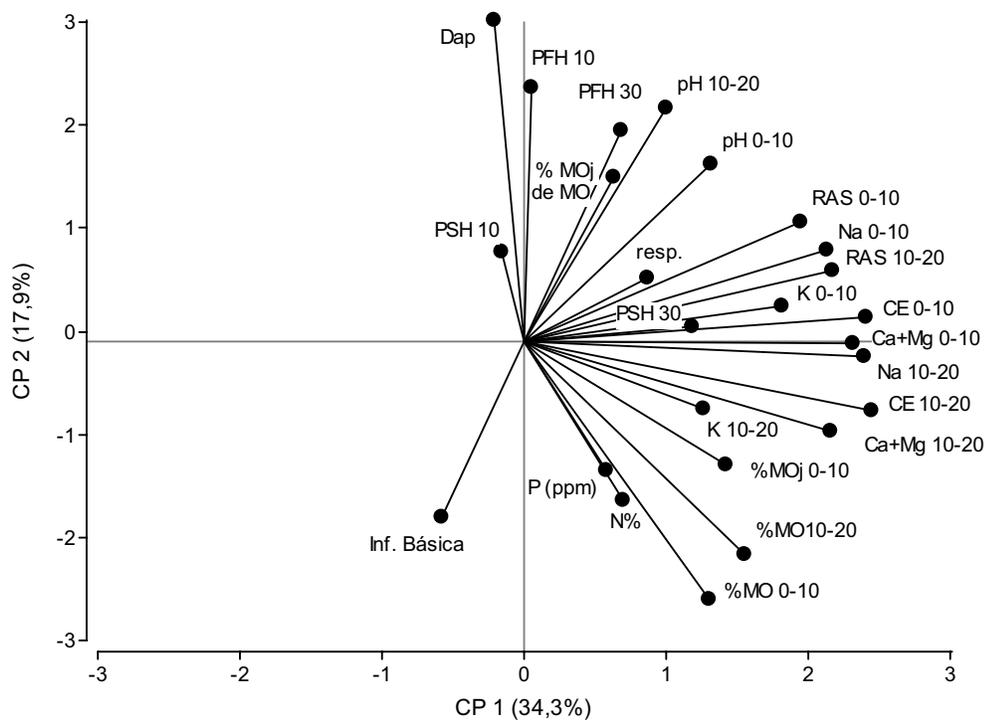


Figura 4.1 Componentes principales para el total de variables utilizadas.

Con estas variables se realizó una tabla de correlaciones, y se descartaron aquellas que redundaban en su información a través de un análisis de regresión. Las tablas correspondientes a las salidas del programa estadístico se presentan en el Anexo.

No formó parte del pool de variables la profundidad de los moteados ya que no se encontraron en la visualización de los perfiles a través de las calicatas.

4.1.2 Selección de acuerdo a las características prácticas de un indicador.

A partir de un primer análisis exploratorio, pudo verse que existe alta correlación entre los valores de CE, pH, RAS y MO muestreados a las profundidades 0 - 10 y 10 - 20 cm, lo que dice que con los muestreos a 10 cm se explica en un 88%, 70%, 96% y 75% respectivamente lo que se encuentra a los 20 cm (Figura 4.2). Por lo tanto considerando las características de sencillez, bajo costo, factibilidad, etc., de un indicador se tomó como variables químicas para describir el estado de un suelo estas cuatro características a la profundidad de 0 – 10 cm.

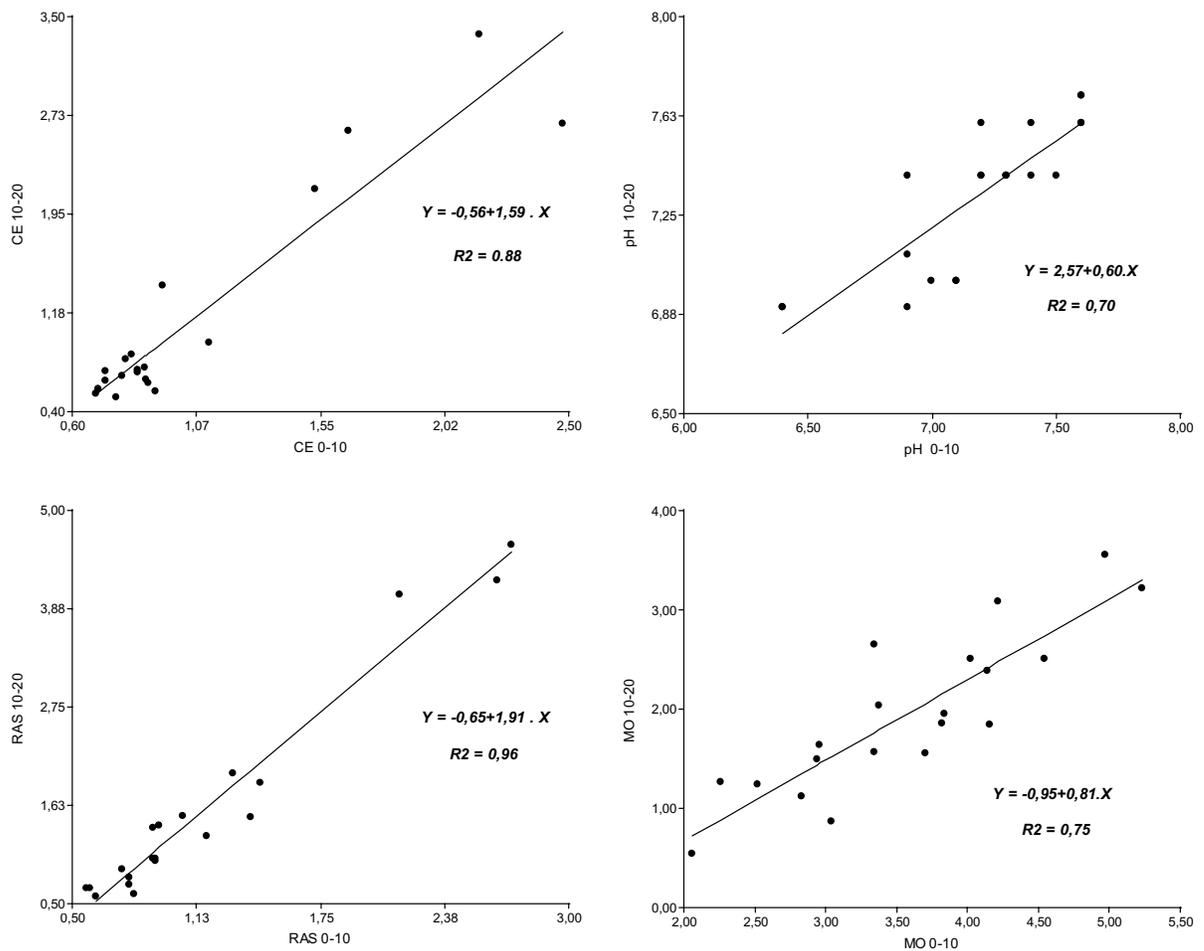


Figura 4.2. Correlación de la conductividad eléctrica, pH, RAS y MO medidas a las profundidades de 0 – 10 y 10 – 20 cm.

En relación a la resistencia a la penetración se apreció que se superan los 2 MPa de presión, valor mencionado como limitante o impedimento del crecimiento radical, a partir de

los 30 cm de profundidad en los dos manejos y en las dos situaciones evaluadas, fuera y sobre la huella de las maquinarias (Blancher *et al.*, 1978; Threadgill, 1982; Abercrombie, 1990 extraído de Aruani & Behmer, 2004). Puede observarse también que los valores de presión se mantienen en profundidad por sobre los 2 Mpa (Figura 4.3). Por lo tanto para este parámetro físico es importante tomar datos hasta los 30 cm de profundidad con preponderancia de este último valor que será considerado como indicador.

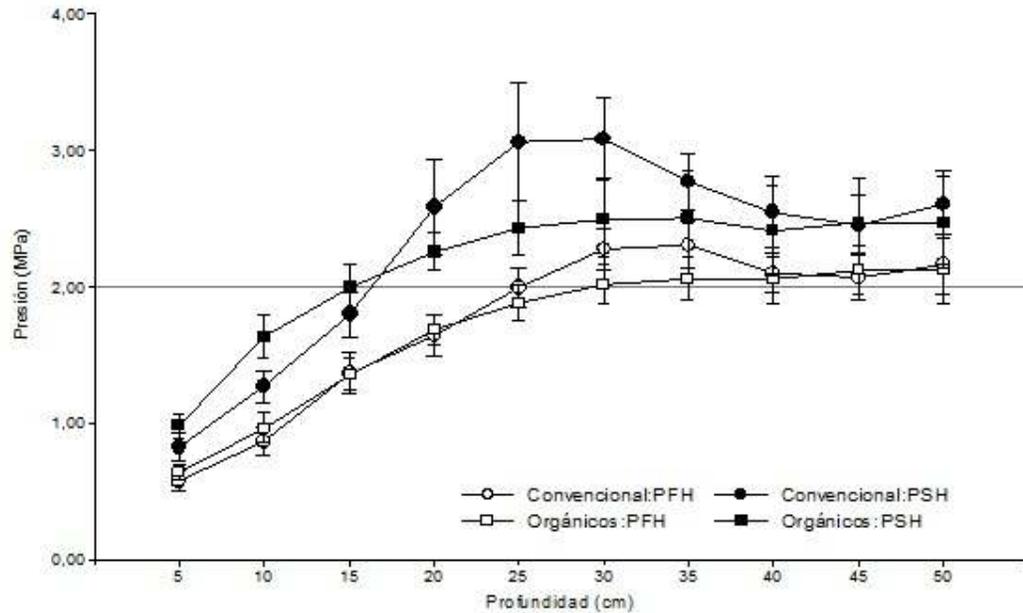


Figura 4.3. Resistencia a la penetración (MPa) sobre y fuera de la huella en función de la profundidad (cm) discriminado por manejo.

Los datos de penetrometría fueron comparables en virtud de que la humedad registrada para cada caso se dio en un 5,4% superior a la calculada por fórmula para los 10 primeros centímetros, y en un 2,3% para la profundidad de 10 – 20 cm, promedios el total de muestras (Figura 4.4).

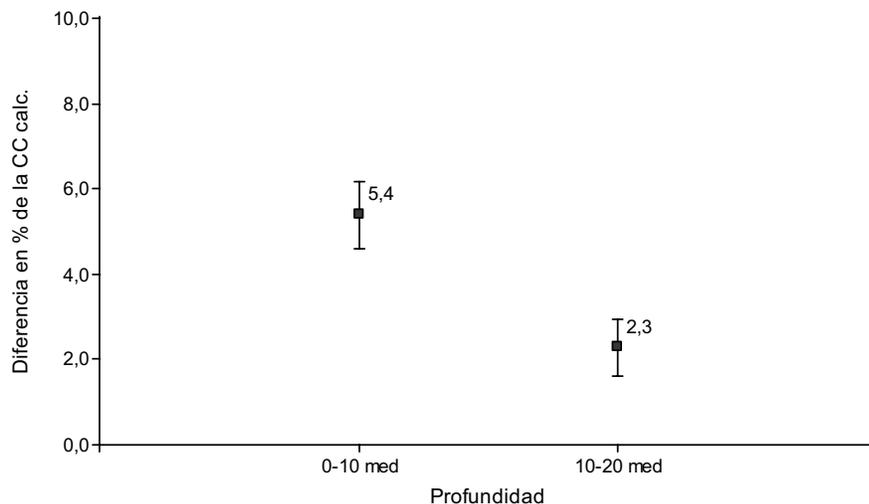


Figura 4.4 Diferencia en % de la humedad edáfica observada y la capacidad de campo calculada.

4.1.3 Selección por criterio agronómico

Reforzando la elección de la MO 0–10 cm por el criterio anterior se suma el hecho de que en el estrato superior se concentra la mayor cantidad de la misma (Sánchez, 1999). A esta se agrega la RAS, que aunque tiene una alta correlación con la CE y el pH es importante seleccionarla por tratarse el área de estudio una zona bajo regadío con posibilidades y casos de enriquecimiento en sodio. Bajo este mismo criterio fue elegida la infiltración básica, un parámetro que debe ser incluido en un índice de calidad de suelos bajo riego.

De la aplicación de los tres distintos criterios para seleccionar los indicadores se logró tener un número reducido de parámetros independientes entre sí en su mayoría y en concordancia con las características propias de la zona y su sistema productivo.

Como resultado del proceso anteriormente enunciado los indicadores seleccionados para integrar el índice de calidad de suelos para perales en el Alto Valle fueron:

- Materia Orgánica de 0 – 10 cm (MO₀₋₁₀)
- pH de 0 – 10 cm (pH₀₋₁₀)
- Conductividad Eléctrica de 0 – 10 cm (CE₀₋₁₀)
- Relación de Absorción de Sodio de 0 – 10 cm (RAS₀₋₁₀)
- Densidad Aparente (Dap)
- Infiltración Básica (Ib)

- Presión Fuera de la Huella a 30 cm (PFH₃₀)
- Presión Sobre de la Huella a 30 cm (PSH₃₀)

Para facilitar la lectura y la visualización en las gráficas se separaron los indicadores en físicos (Dap, lb; PSH₃₀, PFH₃₀) y químicos (MO, pH, CE, RAS). Si bien la MO responde a lo que sería un indicador biológico, por agilidad en la presentación de datos se la incluye junto con los químicos. A partir de aquí se menciona también índice de calidad de suelos químico y físico.

Con ellos también se hizo la correlación con los análisis foliares con la cual se pudo observar que no tuvieron relación ni ofrecieron explicación alguna como se esperaba a partir de su uso como variable respuesta, pudiéndose explicar esto a partir de que el estado nutricional de la planta no solo se debe a una relación directa con el estado y calidad del suelo, sino que responde además a fertilizaciones foliares, posibles enfermedades fúngicas, ataques de nemátodos, etc. (Sánchez, 1999). En el Anexo se encuentra la Tabla 7.1 con el resultado de los análisis foliares y la Tabla 7.6 con la regresión de los nutrientes con los indicadores seleccionados.

De las dos curvas ensayadas, fue seleccionada la recta para representar a cada indicador por las siguientes razones:

- Castiga situaciones cercanas a las límite más que la curva cuadrática,
- Marca con mayor magnitud estados próximos a los limitantes,
- Alerta anticipadamente involuciones o deterioros en la calidad, y
- Marca una mayor diferencia entre la mejor y la peor condición o calidad.

Por otro lado, no se trata este de un trabajo que pretenda dilucidar el comportamiento de los sistemas, sino encontrar herramientas para la adopción por distintos usuarios.

Como cada uno de los indicadores seleccionados queda representado dentro de un rango de 0 (limitante) a 1 (óptimo), cada uno de ellos se asoció a los valores óptimos y limitantes para el cultivo de peras.

Las chacras analizadas arrojaron los siguientes resultados:

4.2 Indicadores químicos

4.2.1 Materia orgánica (MO)

Para transformar los valores de %MO se tomaron como límite los máximos encontrados en este trabajo y los mínimos mencionados para la zona (Sánchez, 1999). La gráfica que acompaña a este indicador se presenta en el Anexo, Figura 7.7.

Para valores de 0 = % MO \leq 1

Valores entre 0 -1 = % MO entre 1 - 5

Para valores de 1 = % MO \geq 5

A partir de la Tabla 4.1 puede verse que en 7 de los 11 casos (63,63 %) las chacras orgánicas fueron superiores en MO.

Si se observan los resultados desde la óptica de la sustentabilidad, puede verse que en 8 casos de 11 (72,72%) tanto chacras orgánicas como convencionales aportaron al índice un valor superior a 0,50; es decir que tienen contenidos de MO sustentables. Sin embargo en los 3 casos que aportaron menos de 0,5 al índice, estas deficiencias no coinciden con su chacra par. Para las 3 chacras orgánicas que no superaron el 0,5; sus correspondientes pares convencionales fueron 39%, 22% y 46% superiores, en tanto que para las chacras convencionales sus pares orgánicas las superan en un 197%, 106% y 39% en el valor de MO. Los resultados mencionados se presentan en la Tabla 4.1

Tabla 4.1. %MO, valor indicador, y diferencia de MO e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de MO		Valor indicador MO		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	MO (* ₁)	Indicador (%)(* ₂)
A	4,02	3,82	0,76	0,71	0,20	7
B	4,16	2,06	0,79	0,27	2,09	197
C	4,14	3,70	0,78	0,67	0,44	16
D	4,97	3,84	0,99	0,71	1,12	40
E	5,23	2,94	1,00	0,49	2,29	106
F	3,04	2,52	0,51	0,38	0,52	34
G	2,96	4,22	0,49	0,81	-1,26	-39
H	4,54	5,09	0,88	1,00	-0,55	-12
I	2,83	3,34	0,46	0,58	-0,50	-22
J	2,26	3,34	0,31	0,58	-1,08	-46
K	4,92	3,38	0,98	0,59	1,55	65

(*₁): Valor de MO orgánico menos valor de MO convencional.

(*₂): 100. (1-valor indicador MO orgánico/valor indicador MO convencional)

Dadas las características semidesérticas originales del Alto Valle (Thorntwaite, Köpen, citados en Sverre Petterssen, 1962) son esperables valores de 1-2 % de MO para estos suelos. Sin embargo, constantes aportes de material vegetal de distintas fuentes (restos de poda de los árboles, hojas de frutales y de álamos, malezas, coberturas implantadas y guanos aplicados) son incorporados en los primeros centímetros (Sánchez, 1999,) y aumentan los niveles de materia orgánica del suelo (Carter, 2000). Por esto es que no son impensables los porcentajes encontrados en este trabajo, los cuales llegaron en promedio a un valor mínimo en los 10 primeros centímetros de 2,06 % en convencional, y un valor máximo de 5,23 % en orgánico. Si se relaciona el valor de MO con el de indicador de 0,5 este es un 3%, cantidad importante como meta y para conservar. Cabe mencionar también que habitualmente para los análisis de MO se muestrean los 30 cm superficiales, por lo cual los datos mencionados para los primeros 10 cm pueden aparecer sobreestimados. En el trabajo de Aruani *et al.*, (2006) puede verse como disminuye la cantidad de MO en las profundidades de 0-7, 5; 7.5-15 y 15-30 cm para los distintos tratamientos de pasturas y testigo con espontáneas y labranza.

Sin embargo, la MO está muy expuesta a disminuciones producto del disturbio del suelo a través de las labores mecánicas, que generan aireación, oxidación y pérdida (Ingham, 1999; Sánchez, 2001). Por esto, y en coincidencia con muchos trabajos en que se compara el uso de coberturas y la labranza (Aruani *et al.*, 2006) o suelo cultivado situaciones cuasiprístinas (Ferraras *et al.*, 2007), la materia orgánica es uno de los parámetros que hacen a la diferencia entre el manejo orgánico, tendiente a la cobertura y no labranza y, el convencional que rotura al menos dos veces al año. Es necesario mencionar que aunque se da así en la mayoría de los casos tomados, este resultado no es absoluto (7 casos de 11) dando muestra de que tampoco es absoluta la diferencia en los manejos orgánico y convencional. No todos los productores orgánicos prescinden de romper sus coberturas, labrar y regar para la lucha contra heladas primaverales, ni los convencionales tienen roturado y descubierto el suelo todo el año, aunque se puede decir es la materia orgánica uno de los indicadores que marca diferencia entre casos.

4.2.2 pH

El pH, es tomado generalmente como indicador por explicar por si solo una serie de sucesos químicos y biológicos, y a partir del cual se pueden hacer inferencias como por ejemplo la disponibilidad de nutrientes existente, la sodicidad de un suelo y sus condiciones físico-químicas. También tiene la ventaja de ser un dato de poco costo y que suele encontrarse en base de datos (Schoenholtz, 2000).

Para convertir los valores de pH a la escala de su indicador se tomó de acuerdo a Sánchez (1999). En el anexo se presenta la gráfica correspondiente (Figura 7.8)

Para valores de 0 = < 5 y > 8,5

Valores entre 0-1 = 5-6 y 7.5 -8,5

Para valores de 1 = 6-7,5

En este caso no existieron problemas por grandes alejamientos de los valores óptimos de pH estipulados para los frutales (6 – 7,5). Por lo tanto los valores correspondientes del indicador son de 1,00 o cercanos a ese valor. Los resultados se presentan en la Tabla 4.2

Tabla 4.2. pH, valor indicador, y diferencia de pH e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de pH		Valor indicado pH		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	pH (* ₁)	Indicador (%)(* ₂)
A	7,2	6,9	1,00	1,00	0,3	0
B	7,0	6,4	1,00	1,00	0,6	0
C	6,4	7,6	1,00	0,93	-1,2	7
D	7,4	7,3	1,00	1,00	0,1	0
E	7,2	7,4	1,00	1,00	-0,2	0
F	6,9	7,5	1,00	1,00	-0,6	0
G	7,2	7,6	1,00	0,93	-0,4	7
H	6,9	7,1	1,00	1,00	-0,1	0
I	7,7	7,6	0,77	0,93	0,2	-18
J	7,6	7,1	0,93	1,00	0,5	-7
K	7,3	7,3	1,00	1,00	-0,1	0

(*₁): Valor de pH orgánico menos valor de pH convencional.

(*₂): 100. (1-valor indicador pH orgánico/valor indicador pH convencional)

Este parámetro tan importante del suelo, en este estudio se ha mostrado dentro de los niveles óptimos para el cultivo de frutales de pepita y en correspondencia con los pH de climas semiáridos donde la tendencia es de la neutralidad hacia la basicidad por presencia de carbonatos de calcio (Sánchez, 1999). Son pocos los casos en que el indicador no está en su valor óptimo de uno, mostrando un mínimo de 0,77 para un pH orgánico de 7,7; apenas por encima del máximo óptimo de 7,5.

4.2.3 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es una medida de expresión de la concentración de iones y de ella se puede conocer potenciales efectos de la salinidad sobre el cultivo. A su vez permite relacionar el potencial osmótico con la disponibilidad de agua e inferir los efectos que este provoca sobre el balance nutricional de las plantas (Schoenholtz, 2000). Es también un análisis muy sencillo de hacer a campo.

La importancia de este indicador en el índice zonal se debe a que el 10% del total de la superficie afectada por salinidad en Argentina, se encuentra en el Alto Valle. Básicamente las sales provienen de la génesis de estos suelos, pero el mal uso del riego y la capa freática elevada y fluctuante, eleva las sales que luego se acumulan en los estratos superiores por la evaporación del agua (Mendía e Irisarri, 1995).

Para conductividad eléctrica (CE) se tomó de acuerdo al estudio FAO: Riego y Drenaje, n.º 33 (Fuentes Yagüe, 1998) y Rhoades *et al.*, (1990) citado por Mendía e Irisarri (1995) para una disminución del rendimiento del peral del 10 % a partir de los 2 dS/m hasta un 30 % a partir de los 4 dS/m. Estos niveles se toman en cuenta bajo la consideración de que la fruta fresca luego de la cosecha sufre descartes que disminuyen aun más los potenciales ingresos para el productor. La gráfica que representa estos valores se encuentra en el anexo (Figura 7.9)

Para valores de $0 = \text{dS/m} \geq 4$

Valores entre $0-1 = \text{dS/m} 2-4$

Para valores de $1 = \text{dS/m} \leq 2$

Teniendo en cuenta los datos resultantes de CE puede verse que se dieron 2 casos de salinidad superior a los 2 dS/m en orgánico, mientras que en convencional se dio solo un caso. Las chacras pares de las orgánicas tuvieron una CE 24% y 8% menor y un 31% para el caso par de la convencional. Estos datos se presentan en la Tabla 4.3

Desde el punto de vista de la sustentabilidad en todos los casos se dio que no peligró la misma por procesos de salinización.

Tabla 4.3 CE (dS/m), valor indicador y diferencia de CE (dS/m) e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de CE		Valor indicador CE		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	CE (* ₁)	Indicador (%)(* ₂)
A	2,487	0,726	0,76	1,00	1,761	-24
B	0,792	0,689	1,00	1,00	0,103	0
C	0,700	0,850	1,00	1,00	-0,150	0
D	2,158	0,881	0,92	1,00	1,277	-8
E	1,442	0,828	1,00	1,00	0,614	0
F	0,917	0,945	1,00	1,00	-0,028	0
G	0,879	1,531	1,00	1,00	-0,652	0
H	0,891	1,658	1,00	1,00	-0,767	0
I	1,122	2,479	1,00	0,76	-1,357	31
J	0,768	0,726	1,00	1,00	0,042	0
K	0,850	0,807	1,00	1,00	0,043	0

(*₁): Valor de CE orgánico menos valor de CE convencional.

(*₂): 100. (1-valor indicador CE orgánico/valor indicador CE convencional)

Al igual que ocurrió con el pH, la conductividad eléctrica no presentó datos que pudieran dar cuenta de problemas por exceso de sales. En ningún caso se llega al valor de 4 dS/m mencionado como umbral de salinidad. Se observan tres casos, dos orgánicos (2,487 dS/m y 2,158 dS/m) y uno convencional (2,479 dS/m) que superan los 2 dS/m, valor que según el criterio tomado para este parámetro, comienza a influir negativamente en los rendimientos de un monte frutal de peras (Fuentes Yagüe, 1998). El peso atribuido por valor indicador (0,76; 0,92 y 0,76 respectivamente) pone en evidencia en forma temprana la necesidad de vigilar el contenido salino.

4.2.4 Relación de absorción de sodio (RAS).

Un problema importante en la zona, el cual perjudica el desarrollo radicular y el rendimiento de los cultivos, es la salinidad de los suelos. Situaciones problemáticas por altos contenidos de sodio, necesidad de enmienda y lavado en varios lugares del Alto Valle responden a procesos naturales de efloración de sales propias del material originario y técnicas ineficientes de riego (Bestvater. y Casamiquela, 1983; Casamiquela, *et al.*, 1984; Doran y Parkin, 1994). Además los suelos reciben una cierta cantidad de sales con el agua de riego, y el problema se agudiza por la presencia de la capa freática a muy escasa

profundidad (0,3 a 2 m) lo cual permite que el agua subterránea ascienda a la superficie por capilaridad inhibiendo el lavado de sales a través del riego (Mendía e Irisarri, 1995).

Si bien no se encontró ningún caso con problemas de sodicidad, por los motivos enunciados en el párrafo anterior la RAS pertenece a la lista de los indicadores seleccionados.

Para transformar los valores de relación de absorción de sodio (RAS) a su indicador se tomó de acuerdo al Manual de Agricultura N° 60 (1954). Los valores transformados a través de la gráfica correspondiente se presentan en el anexo (Figura 7.10)

Para valores de $0 = RAS \geq 13$

Valores entre 0-1 = RAS 8-13

Para valores de $1 = RAS \leq 8$

Los valores observados y transformados se observan en la Tabla 4.4

Tabla 4.4. RAS, valor indicador, y diferencia de RAS e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de RAS		Valor indicador RAS		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	RAS (* ₁)	Indicador % (* ₂)
A	3,45	1,40	1,00	1,00	2,05	0
B	0,94	0,92	1,00	1,00	0,02	0
C	0,81	0,79	1,00	1,00	0,02	0
D	2,15	0,91	1,00	1,00	1,25	0
E	1,33	0,91	1,00	1,00	0,42	0
F	1,18	1,06	1,00	1,00	0,12	0
G	0,92	1,45	1,00	1,00	-0,53	0
H	0,75	1,31	1,00	1,00	-0,55	0
I	2,71	2,64	1,00	1,00	0,07	0
J	0,79	0,62	1,00	1,00	0,16	0
K	0,59	0,57	1,00	1,00	0,02	0

(*₁): Valor de RAS orgánico menos valor de RAS convencional.

(*₂): $100 \cdot (1 - \text{valor indicador RAS orgánico} / \text{valor indicador RAS convencional})$

La RAS no ha generado valores de indicador fuera del óptimo, sin embargo es posible notar que en 9 de los 11 casos (81,81 %) este parámetro fue superior en las chacras

orgánicas. Esto podría deberse a que la cobertura mantiene la humedad en superficie en continuo con el subsuelo, permitiendo el ascenso capilar de las sales, mientras que en convencional el continuo de humedad entre la superficie y el subsuelo se rompe a través de la labor de movimiento de los primeros centímetros.

4.3 Indicadores físicos

4.3.1 Densidad aparente (*Dap*)

La densidad aparente se refiere a la densidad de un suelo tal como es, incluyendo el volumen ocupado por los poros, situación que viene condicionada por la textura y la estructura propias de cada suelo (Fuentes Yagüe, 1998) a lo que se suma el manejo.

Para densidad aparente se tomó de acuerdo al Soil Quality Institute USDA, (1998) de su "Soil Quality Test Kit Guide", un rango general considerando los valores que dan las mejores condiciones para el crecimiento de las raíces y las restricciones para el mismo teniendo en cuenta, para texturas finas:

Para valores de 0 = $\text{g/cm}^3 \geq 1,50$

Valores entre 0-1 = $\text{g/cm}^3 1,25-1,50$

Para valores de 1 = $\text{g/cm}^3 \leq 1,25$

Y para texturas gruesas:

Para valores de 0 = $\text{g/cm}^3 \geq 1,65$

Valores entre 0-1 = $\text{g/cm}^3 1,45-1,65$

Para valores de 1 = $\text{g/cm}^3 \leq 1,45$

Estas rectas determinadas a través de estos límites se observan en el anexo (Figuras 7.11 y 7.12)

Los valores resultantes para este parámetro del suelo se presentan en la Tabla 4.5

Tabla 4.5 Dap (g/cm^3), valor indicador y diferencia de indicador, discriminado por chacra y manejo. Entre paréntesis se mencionan las texturas correspondientes.

Chacra	Valor de Dap		Valor indicador Dap		Diferencia
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	Indicador (%) (* ₁)
A	1,37(fa)	1,29(fa)	0,52	0,82	-36,6
B	1,35(fa)	1,27(fa)	0,61	0,91	-32,34
C	1,27(f)	1,18(fA)	0,94	1,00	-6,34
D	1,25(fl)	1,31(fl)	1,00	0,77	29,22
E	1,10(faA)	1,37(fa)	1,00	0,51	96,83
F	1,44(fA)	1,47(f)	1,00	0,14	636,3
G	1,33(fa)	1,42(f)	0,69	0,32	113,29
H	1,29(fa)	1,20(f)	0,85	1,00	-14,61
I	1,38(f)	1,36(f)	0,47	0,55	-14,17
J	1,50(fl)	1,19(f)	0,00	1,00	-100
K	1,24(fa)	1,28(fa)	1,00	0,87	14,72

(*₁): 100. (1-valor indicador Dap orgánico/valor indicador Dap convencional)

La diferencia entre valores de densidad aparente no se realizó dado que no todos los pares de chacras tuvieron la misma textura.

Se puede observar que en cada tratamiento, analizado por sustentabilidad, se presentaron dos casos con valores por debajo del establecido como limitante (0,5).

En general se puede decir que las chacras con manejo convencional y orgánico tuvieron un comportamiento similar en el estrato superficial del suelo, en coincidencia con Di Prinzio *et al.*, (1998), quienes ensayaron dos situaciones (con y sin cobertura), y dos intensidades de tráfico (11 y 19 pasadas) sobre un monte frutal de manzanas. Estos autores concluyeron que en las dos situaciones, aumentaba la Dap respecto de un testigo sin tránsito, con los mayores valores en los 15 primeros centímetros aunque fue mas manifiesto el efecto en suelos sin cobertura, a diferencia del presente trabajo, que observa mayores compactaciones sobre manejo orgánico o el equivalente con cobertura. Estas diferencias entre trabajos podría residir en que en el de Di Prinzio *et al.*, (1998), los resultados se basan en sucesivas pasadas simulando el tráfico de la maquinaria en un solo momento, en tanto que el presente trabajo, respetó la historia de cada cuadro y la Dap es el reflejo de los manejos en el tiempo.

Del mismo modo y comparando aquellos pares de chacras que resultaron tener iguales texturas fue posible advertir que en los dos manejos existe una cierta compactación superficial, aunque en orgánico se vio acentuada, acercándose a valores de no sustentabilidad para la textura franco arcillosa y llegando, con un valor de 0,47 la textura franca, a no ser sustentable.

Esto puede explicarse si se considera que la densidad aparente fue una medida superficial y que los dos tratamientos tienen gran influencia sobre los primeros centímetros. En orgánico se mantiene el suelo con cobertura permanente y sin labranza (o solamente de tipo vertical), es decir sin movimientos de la superficie del suelo y convencional, anualmente, se remueven los primeros centímetros (Sánchez, 1999). Ocurre también que, y acordando con Di Prinzio *et al.* (1998), para las dos formas de tratar al suelo, posteriormente al riego se sucede la compactación por tránsito pesado producto de la necesidad de los tratamientos fitosanitarios y la salida de la cosecha.

En consideración de que la densidad aparente, entre otras, depende de la textura, se pudieron realizar algunas observaciones (Tabla 4.6)

Tabla 4.6 Valores de indicador promedio para cada textura según los tratamientos y número de casos.

Textura	Orgánico		Convencional	
	Nº de casos	Indicador	Nº de casos	Indicador
fa	5	0,73	4	0,77
f	2	0,70	5	0,60
fl	2	0,50	1	0,77
fA	1	1,00	1	1,00
faA	1	1,00	0	-

Los casos de texturas gruesas, tanto orgánicos como convencionales, se mostraron en los valores óptimos de densidad aparente coincidiendo con Aruani y Behmer (2004) que comparando granulometría y compactación en suelos de texturas media y gruesa (Haplocambides típicos y Torrifuventes típicos) vieron que los suelos de texturas gruesas estaban significativamente menos compactados que las texturas medias en todo su perfil. Esto podría estar mostrando que las texturas gruesas son insensibles al manejo, en tanto que las texturas finas si tienen cierta sensibilidad. Por lo tanto, no se ven texturas indeseables y dependiendo de un manejo adecuado todas estas pueden responder bien.

4.3.2 Infiltración básica (Ib)

La infiltración se refiere a la entrada vertical del agua al suelo y es especialmente importante en suelos sometidos a riego por manto. Es un parámetro muy importante e integrador del funcionamiento del suelo, sin embargo existen pocos datos por estar influenciada por su condición superficial (aun cuando las capas inferiores pueden también ser limitantes), el estado físico y químico y la naturaleza del perfil. También la alta variabilidad espacial y las dificultades operativas que presenta su determinación. Para salvar este inconveniente se utilizó el equipo brindado por la Valija de Calidad y Salud de Suelos, el cual permite realizar varias repeticiones en un sitio y en un mismo momento.

De acuerdo al instructivo de uso de la valija de calidad y salud de suelos, los valores de tasas de infiltración se encuentran clasificados como moderados (15-50 mm/h), moderadamente rápidos (50-150 mm/h) y rápidos (150 - 500 mm/h). Por otro lado, para Gras (1961) las velocidades de infiltración adecuadas para árboles frutales que se riegan por inundación están comprendidas dentro del rango 50 - 200 mm/h (Mendía e Irisarri, 1995).

Por lo tanto para infiltración básica se tomó el rango óptimo de acuerdo a Gras (1961) citado por Mendía e Irisarri (1995). En el anexo se presenta la gráfica que refleja estos rangos (Figura 7.13):

Para valores de 0 = mm/h ≤ 50 y ≥ 200

Valores entre 0-1 = mm/h 0-50 y 200-400

Para valores de 1 = mm/h 50-200

Los valores resultantes de las experiencias a campo se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 lb (mm/h), valor de indicador y diferencia de lb (mm/h) e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de lb		Valor indicador lb		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	lb (* ₁)	Indicador (%)(* ₂)
A	60,3	20,2	1,00	0,40	40,1	148
B	237,0	284,3	0,82	0,58	-47,3	41
C	125,8	123,5	1,00	1,00	2,3	0
D	104,3	58,6	1,00	1,00	45,7	0
E	324,9	101,1	0,38	1,00	223,8	-62
F	87,2	63,0	1,00	1,00	24,2	0
G	267,8	10,2	0,66	0,20	257,6	224
H	82,2	21,7	1,00	0,43	60,5	130
I	17,7	98,5	0,35	1,00	-80,8	-65
J	19,6	132,8	0,39	1,00	-113,2	-61

(*₁): Valor de lb orgánico menos valor de lb convencional.

(*₂): 100. (1-valor indicador lb orgánico/valor indicador lb convencional)

Según Mendía e Irisarri (1995), las velocidades de infiltración básica en el Alto Valle oscilan entre 10 y 100 mm/h. En este trabajo han podido observarse infiltraciones comprendidas entre los 10 mm/h bajo manejo convencional hasta 325 mm/h con manejo orgánico, aunque en los dos manejos se dan situaciones por debajo y sobre el óptimo, castigándose estas situaciones por defecto o exceso, a través del valor de indicador.

Respecto de este parámetro puede decirse que los valores encontrados mostraron siete casos en que el tratamiento orgánico fue superior al convencional, en tanto que en 3 casos se dio inverso y uno en el cual se puede decir que las infiltraciones básicas fueron equiparables entre vecinos (Tabla 4.7, diferencia de lb).

Al observarse los valores de indicador óptimos, se ve que el tratamiento convencional tuvo 6 casos con un valor de uno, en tanto que el orgánico presentó 5 casos.

Existen tres pares de casos (chacras C, D y F) para las cuales no se observó diferencias en el indicador entre tratamientos. Las chacras orgánicas B, E, G y K obtuvieron un valor de indicador menor por exceder los 200 mm/h de infiltración, mientras que las I y J lo fueron por infiltraciones deficientes. En tanto para las convencionales, dos casos, B y K tuvieron exceso de infiltración, mientras que las A, G y H tuvieron deficiencias para infiltrar el agua.

Por lo tanto, si bien los datos no son absolutos, marcan una tendencia, pudiéndose observar que el manejo orgánico presenta dificultades por exceso de infiltración, en tanto que el convencional las tiene por déficit en su capacidad de infiltrar el agua de riego.

Es importante recordar aquello que mencionan Mendía e Irisarri en 1995 sobre la génesis aluvional de los suelos del Alto Valle, que ha dado como resultado la presencia de perfiles con escaso desarrollo pedogenético (perfiles isotrópicos) vinculados a cortas distancias (decenas de metros) con horizontes contrastantes (perfiles anisotrópicos), sumado a las variaciones consecuencia de los trabajos de nivelación (decapitación y relleno), lo que lleva a presuponer comportamientos hídricos diferentes frente a los aportes del agua de riego, como fue posible advertir en este trabajo en virtud de la falta de un patrón claro de infiltración.

4.3.3 Presión fuera de la huella a 30 cm (PFH_{30})

El término compactación puede ser definido como un proceso que conduce a la densificación de los suelos como consecuencia de la aplicación de presión, generalmente por períodos cortos de tiempo (Soane, 1990).

Además de la densidad aparente, otro método sencillo y una buena medida de la compactación es la penetrometría o resistencia a la penetración, entre otros (Wolkowski, (1990). Al evaluar el efecto del tránsito de maquinarias con distinto rodado sobre el perfil del suelo y la distribución de raíces de soja, Gerster *et al.*, (2008) concluyeron que al igual que la densidad aparente, la determinación de penetrometría es de gran utilidad para obtener gran número de datos precisos y rápidos, resultando un buen indicador de las condiciones físicas del suelo pensando en el manejo intensivo que se realiza en el Alto Valle de Río Negro.

Existen varios tipos de compactaciones dentro de las cuales nos interesan en este trabajo la compactación superficial producto normal de la labranza, y la compactación en profundidad (Soil Quality Institute, 2003).

Valores por sobre los 2 MPa se mencionan como un impedimento para el crecimiento de las raíces (Blancher *et al.*, 1978; Threadgill, 1982; Abercrombie, 1990 extraído de Aruani & Behmer, 2004). Este valor de 2 MPa equivale a 7 u 8 golpes en 5 cm del penetrómetro de golpe utilizado.

Para presión fuera la huella a los 30 cm de profundidad se tomó de acuerdo a la bibliografía anteriormente citada 2 Mpa como valor mínimo, y el máximo a partir de los valores obtenidos. La gráfica de la recta que verifica estos valores se puede observar en el anexo (Figura 7.14).

Para valores de 0 = MPa \geq 4

Valores entre 0-1 = MPa 2-4

Para valores de 1 = MPa \leq 2

Los resultados de la toma de datos a campo y sus transformaciones al indicador se presentan en la Tabla 4.8

Tabla 4.8 PFH₃₀ (MPa), valor de indicador y diferencia de PFH₃₀ (MPa) e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de PFH ₃₀		Valor indicador PFH ₃₀		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	PFH ₃₀ (* ₁)	Indicador (%) (* ₂)
A	1,38	1,66	1,00	1,00	-0,28	0
B	2,34	2,34	0,83	0,83	0,00	0
C	1,52	1,24	1,00	1,00	0,28	0
D	2,48	2,21	0,76	0,90	0,28	-15
E	1,79	2,48	1,00	0,76	-0,69	32
F	2,76	3,45	0,62	0,28	-0,69	125
G	1,79	2,62	1,00	0,69	-0,83	45
H	1,52	2,90	1,00	0,55	-1,38	81
I	2,90	2,62	0,55	0,69	0,28	-20
J	2,21	1,79	0,9	1,00	0,41	-10
K	1,52	1,66	1,00	1,00	-0,14	0

(*₁): Valor de PFH₃₀ orgánico menos valor de PFH₃₀ convencional.

(*₂): 100. (1-valor indicador PFH₃₀ orgánico/valor indicador PFH₃₀ convencional).

Considerando el valor de PFH₃ puede decirse que en seis casos la penetrometría a los 30 cm fue mejor en las chacras orgánicas respecto de sus pares convencionales, en cuatro casos fue mejor en las convencionales y en uno no hubo diferencias entre chacras vecinas.

En términos de valor indicador, en las chacras orgánicas E, F, G y H, que tuvieron mejor performance, puede verse esta diferencia con sus contrapartes convencionales

expresada en 32%, 125%, 45% y 81%. En tanto que la diferencia a favor de las chacras convencionales D, I y J fue de 15%, 20% y 10% respectivamente, con lo cual se deduce que por la cantidad de chacras y las diferencias en porcentaje, las chacras convencionales estuvieron más compactadas que sus vecinas orgánicas.

Cinco chacras orgánicas presentaron presiones superiores a 2 Mpa (45,45%), coincidiendo cuatro de ellas con sus vecinos convencionales, tratamiento este, que registró siete casos con presiones mayores a la presión límite (63,63%).

Los valores máximos de presión para orgánico y convencional fueron 2,90 y 3,45 Mpa respectivamente, generando un valor del indicador de 0,55 (cerca del límite) y 0,28 (muy por debajo del límite de 0,5).

4.3.4 Presión sobre la huella a 30 cm (PSH_{30})

Para presión sobre la huella a los 30 cm de profundidad se tomó de acuerdo a (Blancher *et al.*, 1978; Threadgill, 1982; Abercrombie, 1990, extraído de Aruani y Behmer, 2004) el valor mínimo de 2 Mpa y, considerando que es inevitable una mayor compactación sobre la huella, un valor máximo distinto de la penetrometría fuera de la huella. En el anexo (Figura 7.15) se observa la gráfica que hace las transformaciones de estos rangos:

Para valores de 0 = MPa \geq 6

Valores entre 0-1 = MPa 2-6

Para valores de 1 = MPa \leq 2

Desde el análisis de este parámetro puede decirse que en siete de once casos (63,64%), los orgánicos tuvieron mejores valores de indicador que los convencionales, con una mínima diferencia de 2% y una máxima diferencia de 100%. En tanto las convencionales tuvieron menos presión bajo la huella en tres casos (27,3%) con una mínima diferencia de 11% y máxima de 53%.

Tabla 4.9 PSH₃₀ (MPa), indicador y diferencia de PSH₃₀ e indicador, discriminado por chacra y manejo.

Chacra	Valor de PSH ₃₀		Valor indicador PSH ₃₀		Diferencia	
	Orgánico	Convencional	Orgánico	Convencional	PSH ₃₀ (* ₁)	Indicador (%) (* ₂)
A	2,21	2,62	0,95	0,84	-0,41	12
B	2,34	2,34	0,91	0,91	0,00	0
C	1,52	2,07	1,00	0,98	-0,55	2
D	2,62	2,21	0,84	0,95	0,41	-11
E	4,41	2,62	0,40	0,84	1,79	-53
F	4,69	3,45	0,33	0,64	1,24	-49
G	1,24	6,48	1,00	0,00	-5,24	100
H	2,76	4,00	0,81	0,50	-1,24	62
I	2,21	2,76	0,95	0,81	-0,55	17
J	1,52	2,62	1,00	0,84	-1,10	18
K	1,93	2,76	1,00	0,81	-0,83	23

(*₁): Valor de PSH₃₀ orgánico menos valor de PSH₃₀ convencional.

(*₂): 100. (1-valor indicador PSH₃₀ orgánico/valor indicador PSH₃₀ convencional).

En un suelo que es cultivado con árboles frutales, las plantas sobre las filas están dispuestas a una distancia variable (1 a 4 m en la generalidad del Alto Valle) según el marco de plantación y separadas las filas a un mínimo de 4 m, permitiendo la circulación de la maquinaria destinada a hacer las distintas labores.

Se presentan aquí entonces dos situaciones en torno al movimiento y compactación de los suelos. Cuando se rastrea (y/o se pasa un cincel o un subsolador, aunque esto no es tan común ni frecuente), se hace en toda la calle. El suelo de las mismas es removido y descompactado, soportando el mismo peso de la maquinaria. Luego, la compactación que sufre es básicamente debida al reacomodamiento de partículas y agregados por vibraciones generadas por el paso de las maquinarias, empujados por el riego y el tránsito humano, el apoyo de bins vacíos y cargados (400 kg/m² aprox.) por lo cual el suelo persiste por más tiempo con el resultado de las labores.

Por otro lado, y cuando se habla de la compactación sobre la huella, se hace referencia a una serie de sucesos obligados por el marco de plantación, como es el paso de la maquinaria indefectiblemente por el mismo lugar cada vez, en virtud de las casi dos decenas de pasadas entre tractor y pulverizadora, control mecanizado de malezas, fertilizaciones, y las numerosas entradas de tractor con elevador durante la época de

cosecha, etc. (Di Prinzio *et al.*, 1998), por lo cual la huella sufre más acabadamente los efectos de la compactación, sumado a esto que el efecto del tránsito en las distintas pasadas es acumulativo (Voorhess *et al.*, 1986; Hakansson & Reeder, 1994 y Jorajuría, 2004 citados por Gerster *et al.*, 2008). Analizando distintos niveles de tránsito sobre un cultivo de soja, Gerster *et al.*, (2008), encontraron incrementos en los valores de densidad aparente y resistencia a la penetración en los tratamientos con tránsito. Esta situación sería concordante con los resultados obtenidos en la presente experiencia.

Además, se suma a esta confinación del tránsito, paso con altos contenidos hídricos en el suelo, atendiendo a la oportunidad de distintas labores (Di Prinzio *et al.*, 1998), falta de consideración de las características inherentes al tipo y estructura del suelo, bajas velocidades de avance y altas presiones generadas por el gran peso de la pulverizadora, de alrededor de 2.500 kg soportados por ruedas que tienen un ancho de 25–30 cm (Draghi, 2001). Esto hace del tránsito agrícola el factor más importante que actúa en la compactación de los suelos (Koleen, 1994 citado en Di Prinzio *et al.*, 1998).

Algunos problemas que genera la compactación pueden ser que limita el espacio de exploración de las raíces, lo cual se vuelve crítico a la hora de pensar en ciertos nutrientes como el fósforo, el cual es inmóvil, y debe ser alcanzado por las raíces en su exploración, o también que obliga a las raíces a explorar y competir con sus vecinas.

Dragui *et al.*, (2001) pudieron determinar que las intensidades de tráfico utilizadas en el monte frutal en el Alto Valle, inducen valores de resistencia a la penetración superiores a 2,2 MPa (Aruani y Behmer, 2004).

Al retomar la gráfica generada por las resistencias a la penetración (Figura 4.2) puede verse, además de que a los 30 cm los dos manejos llegan a los 2 MPa, y que a todas las profundidades sobre la huella está siempre más compactado en coincidencia con Draghi *et al.*, (2001) y Aruani *et al.*, (2002), que hasta los 15 cm el manejo orgánico se presenta más compactado tanto fuera como sobre la huella, llegando incluso en esta profundidad y sobre la huella a los 2 MPa. Alrededor de los 20 cm sobre y fuera de la huella se produce una inversión a partir de la cual los convencionales comienzan a presentar mayor resistencia a la penetración, llegando entre los 25 y los 30 cm a sobrepasar los 3 MPa sobre la huella, mientras que en los orgánicos a esta misma profundidad se dan 2,5 MPa. Fuera de la huella los convencionales llegan a los 2 MPa a los 25 cm de profundidad en tanto que los orgánicos lo hacen a los 30 cm. Luego y hasta los 50 cm (profundidad de medición máxima para este trabajo) se mantiene la compactación con valores por sobre los 2 MPa, y con valores siempre superiores sobre la huella, ratificando esto, que generalmente la

compactación es un problema que se da dentro de los primeros 60 cm en el perfil del suelo, tal como lo menciona (Soil Quality Institute, 2003).

Según Voorhess *et al.*, (1986), Hakansson & Reeder (1994) y Jorajuría (2004) citados por Gerster *et al.*, (2008), el efecto del tránsito se asocia a dos efectos negativos, uno superficial relacionado con la presión que ejerce el neumático, y otra a nivel subsuperficial, en el que la compactación depende del peso total del equipo utilizado.

El peso total de los equipos utilizados es similar para la mayoría de los casos, por lo tanto, los suelos en superficie y en profundidad sufren la misma presión y peso en los dos manejos. Sin embargo el manejo orgánico no recibe movimientos superficiales del suelo, sino que se tiene aperturas verticales con cincel, por lo que pueden mostrar en el tiempo mayor compactación superficial en comparación con el manejo convencional que, con la rastra de discos utilizada habitualmente, llega a mover los primeros 20 cm.

Por otro lado, y en profundidad, analizando lo sucedido mas allá de los 20 cm y luego de la inversión de las resistencias a la penetración, se podría decir que es posible la existencia de un efecto amortiguador de las coberturas en orgánico, mientras que en convencional se podría estar sufriendo completamente los efectos del peso de la maquinaria y superando así con amplitud los valores límites para el adecuado desarrollo de las raíces. Esto se dio en coincidencia con Di Prinzio *et al.*, (1998) y Draghi *et al.*, (2003) quienes concluyeron que teniendo cobertura interfilas es posible disminuir la densificación del suelo provocada por el pasaje sucesivo de la maquinaria.

Este efecto "amortiguador" que producen las coberturas vegetales se puede explicar desde la física. Existe el concepto de momentum que es igual a la masa de un cuerpo por la velocidad que tiene ($\text{momentum} = m \cdot v$). Si alguno de estos dos aumenta o disminuye, también lo hace el momentum. Como la masa de la maquinaria no varía (a grandes rasgos), indefectiblemente lo que varía es la velocidad, para lo cual es necesaria una fuerza que la provoque. Por otro lado es importante el tiempo en que se desarrolla esa fuerza. Una variación en la fuerza o el tiempo en que se desarrolla la misma generará un cambio en el momentum y este se denomina impulso ($\text{impulso} = F \cdot t = \text{cambio en el momentum}$) (Hewitt, 1992). Cuando la maquinaria a través de las ruedas hace contacto con un suelo desnudo, le transmite toda la fuerza en un tiempo. Cuando en cambio el contacto es primero con una cobertura, el impulso que recibe el suelo se prolonga en el tiempo disminuyendo entonces la fuerza. El efecto de esta fuerza o peso de la maquinaria es "diluído" por una prolongación en el tiempo a través de la cobertura.

Es posible prevenir entonces la compactación a través del tráfico controlado, uso de coberturas, aumento de la superficie de contacto rueda-suelo, reduciendo al mínimo el número de pasadas sobre suelo húmedo para lo cual se podría hacer riego alternado y circular por la calle no regada, y de ser posible utilizar maquinaria de menor peso (Wolkowski, 1990; Di Prinzio *et al.*, 1998; Gerster *et al.*, 2008) o hacer aplicaciones líquidas a las plantas con menores volúmenes de agua con el agregado de productos tensioactivos que mejoren la calidad de la aplicación, lo que disminuiría el peso transportado por la pulverizadora. También es posible aliviar la compactación ya producida a través del uso de subsolador y cincel que trabajan en profundidad (Wolkowski, 1990; Di Prinzio *et al.*, 1996).

4.4 Integración de los indicadores seleccionados en un índice de calidad de suelos (ICS).

De los indicadores seleccionados y descritos en su comportamiento en párrafos anteriores y que conforman este ICS algunos ya han sido seleccionados en otros índices e incluso, fueron parte del primer set mínimo (MO, CE, pH, densidad aparente, Larson & Pierce, (1991) (citado en Doran & Parkin (1994), Larson & Pierce (1994)) ya que son características del suelo que dan explicación a muchos comportamientos y respuestas del mismo. Por otro lado, son también parte del presente índice, indicadores no usuales como la infiltración, la penetrometría y la relación de absorción de sodio, que surgen a partir de las características y condiciones del cultivo: montes frutales con regadío en su mayoría por manto en coincidencia con el pasaje de maquinaria de gran peso indefectiblemente por el mismo sitio y concentrado en primavera verano.

Para obtener este índice se tomaron tres criterios de selección: estadístico, agronómico y por características de los indicadores, y tiene en cuenta cuestiones propias del cultivo, del sistema de riego, de manejo del suelo y posibilidades zonales de análisis de laboratorio y determinaciones.

El Índice de Calidad de Suelos (ICS) surge por sumatoria de las transformaciones (logradas a través de rectas construidas por consideración de los requerimientos del cultivo de pera) de los valores reales de cada parámetro a una escala de uno a cero, sumando un total de 8 puntos como máximo (por cantidad de indicadores) y cero como mínimo. El índice resultante arroja un valor adimensional perteneciente a una escala que hace factible hacer comparaciones entre distintas situaciones de manejo o comparar también sucesivas evaluaciones de un mismo manejo.

$$\text{ICS} = \sum (\text{MO}_{0-10}, \text{pH}_{0-10}, \text{CE}_{0-10}, \text{RAS}_{0-10}, \text{Dap}, \text{Ib}, \text{PFH}_{30}, \text{PSH}_{30})$$

$$\text{ICS} = 0 \rightarrow 8$$

Con el fin de categorizar o dar una valoración a los distintos casos se dividió la escala del índice 0 a 8 en cinco categorías:

[0 - 2]	→	muy baja calidad de suelos
(2 - 3,5]	→	baja calidad de suelos
(3,5 - 4,5]	→	moderada calidad de suelos
(4,5 - 6]	→	alta calidad de suelos
(6 - 8]	→	muy alta calidad de suelos

Al tratarse de un índice que pretende orientar sobre la condición de sustentabilidad de cada lugar que se pretenda evaluar, es admisible el valor mínimo de 0,5 para cada indicador solo como situación inicial. Debido a que el concepto de sustentabilidad nos habla de mejora o mantenimiento de la calidad del suelo (Larson & Pierce, 1994), no sería esperable iniciar con valores altos e ir disminuyendo aun cuando estos sigan siendo sustentables. Solamente podrían aceptarse en el corto plazo fluctuaciones en torno a un valor, pero no tendencias.

Así resulta que de estas cinco categorías las dos primeras tienen condiciones que no responden a este criterio de sustentabilidad, por cuanto en todos los parámetros existen valores de 0,5 o menores. La categoría moderada calidad de suelos se presenta como el rango que alerta sobre la condición de no sustentabilidad y que da paso a través de mejoras hacia la sustentabilidad. Contiene al valor 4 que estaría formado por valores limitantes en todos sus indicadores. Las restantes categorías de calidad de suelo se considera que responden al criterio al tener los indicadores valores superiores a 0,5.

En el presente trabajo serán consideradas sustentables aquellas situaciones en las que el sistema otorgue valores que planteen el mantenimiento o mejora de los parámetros medidos del suelo.

4.5. Comparación a través del índice de calidad de suelos de las dos situaciones de manejo de suelos con frutales de pera, convencional y orgánico.

4.5.1 Valoración general por Índice de Calidad de Suelos (ICS)

Las 22 chacras, de acuerdo al Índice de Calidad de Suelos tuvieron la siguiente performance:

En términos generales o de promedios se observa que para los dos tipos de manejo se tuvieron similares índices de calidad de suelos. En sus máximos valores, solo se vio una diferencia de 1,71% a favor de las chacras orgánicas. Del mismo modo para un valor promedio del índice de los 11 casos para cada manejo se apreció un 4,09% de diferencia, en tanto que para los valores mínimos se observó una mayor diferencia que se encuentra en el orden del 11,69% a favor del manejo orgánico.

Tabla 4.10 Valores mínimos, medios y máximos de ICS para los tratamientos orgánico y convencional.

Índice	Orgánico	Convencional	% Diferencia (* ₁)
valor mínimo	5,54	4,96	11,69
valor medio	6,87	6,6	4,09
valor máximo	7,72	7,59	1,71

(*₁): 100. (1-valor índice orgánico/valor índice convencional).

De acuerdo a los rangos de sustentabilidad, las 22 chacras observadas quedaron clasificadas como sigue:

Tabla 4.11 Cantidad de chacras clasificadas por manejo y por sustentabilidad de acuerdo a su ICS.

Rangos	Orgánico	Convencional
[0 - 2)	0	0
(2 - 3,5)	0	0
(3,5 - 4,5)	0	0
(4,5 - 6)	2	2
(6 - 8]	9	9

Según esta clasificación existió igual cantidad de chacras con muy alta calidad de suelos orgánicas que convencionales (rango de seis a ocho) y misma cantidad de chacras de alta calidad de suelos (rango de 4,5 a seis) en ambos tratamientos. Sin embargo al hacer el análisis por pares de chacras, se observó que 9 de las chacras orgánicas tuvieron mejor performance que sus vecinas convencionales (81,81%) (Tabla 4.12). Estos resultados son coincidentes con Glover *et al.*, 2000, quienes evaluaron calidad de suelos en manejos orgánico, integrado y convencional, obteniendo todos altos valores de índice, aunque los mas altos se correspondieron con el orgánico que reunió mejores condiciones generales que el convencional.

Tabla 4.12 Índice de Calidad de Suelos para el total de chacras discriminadas por tratamiento y diferencia de los valores por pares de chacras.

Chacras	ICS por Tratamiento		Diferencia (* ₁)
	Orgánico	Convencional	
A	6,98	6,78	0,20
B	6,96	6,49	0,47
C	7,72	7,59	0,13
D	7,52	7,33	0,19
E	6,77	6,60	0,17
F	6,46	5,43	1,03
G	6,84	4,96	1,88
H	7,55	6,49	1,06
I	5,55	6,33	-0,78
J	5,54	7,43	-1,89
K	7,72	7,14	0,58

(*₁): Valor de ICS orgánico menos valor de ICS convencional.

Por lo tanto puede observarse una marcada tendencia de las chacras orgánicas a tener mejor ICS que sus vecinas convencionales.

4.5.2 Análisis del ICS a través de gráficos.

En la Figura 4.5 en la que se ordenan los índices resultantes para cada chacra de menor a mayor, pudo verse que existe un solapamiento entre las chacras orgánicas y convencionales. Sin embargo los últimos mejores valores del índice de calidad de suelos (dos casos de 7,72) correspondieron a chacras orgánicas, mientras que los valores más

bajos afectaron a chacras convencionales (4,96 y 5,43). El resto de los valores intermedios se intercalaron entre manejos aunque si se toma la posición media que divide la cantidad de chacras en 11 peores y 11 mejores, en el primer grupo se encuentran 7 chacras convencionales contra 4 orgánicas, mientras que en el segundo grupo se da obviamente la inversa, 7 orgánicas contra 4 convencionales. Vale decir que los mejores valores de índice se encuentran bajo manejo orgánico mientras que las peores (sin por ello ser malas) son las convencionales.

A nivel general del total de chacras pudo notarse en la gráfica por el alto de las barras, que las deficiencias que marcadamente diferenciaron unas chacras de otras se correspondieron con los parámetros de tipo físico (barra superior).

Desde otro punto de vista puede decirse a través del alto de las barras, que para valores de índice similares como 6,49 y 6,50 (chacras convencionales H y B), el primero tubo problemas físicos, mientras que el segundo posee inconvenientes de tipo químicos.

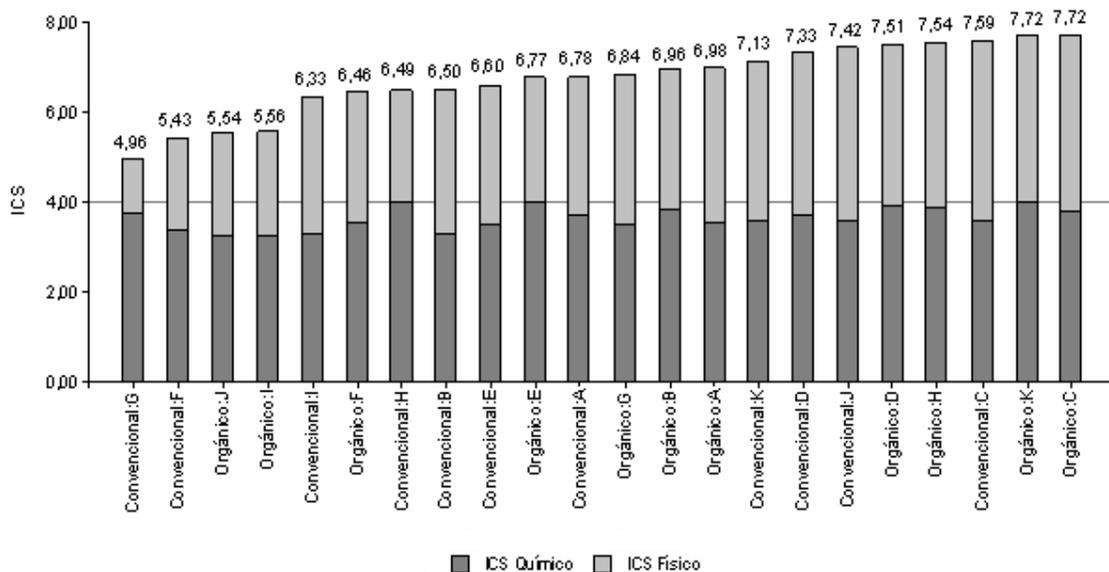


Figura 4.5 ICS por orden creciente para el total de chacras evaluadas.

Analizando ahora en forma gráfica las chacras de a pares vecinos (Figura 4.6), se puede ver como salvo los pares I y J, para los cuales la condición en convencional fue mejor que en orgánico, en los 9 pares de establecimientos restantes el manejo orgánico generó un valor superior de ICS. En este gráfico se puede analizar además cuáles son los motivos de la desigualdad entre chacras vecinas. Por ejemplo, para la chacra convencional del par G son problemas de tipo físico los que la diferencian de su vecina orgánica, aunque químicamente se encontró en mejores condiciones.

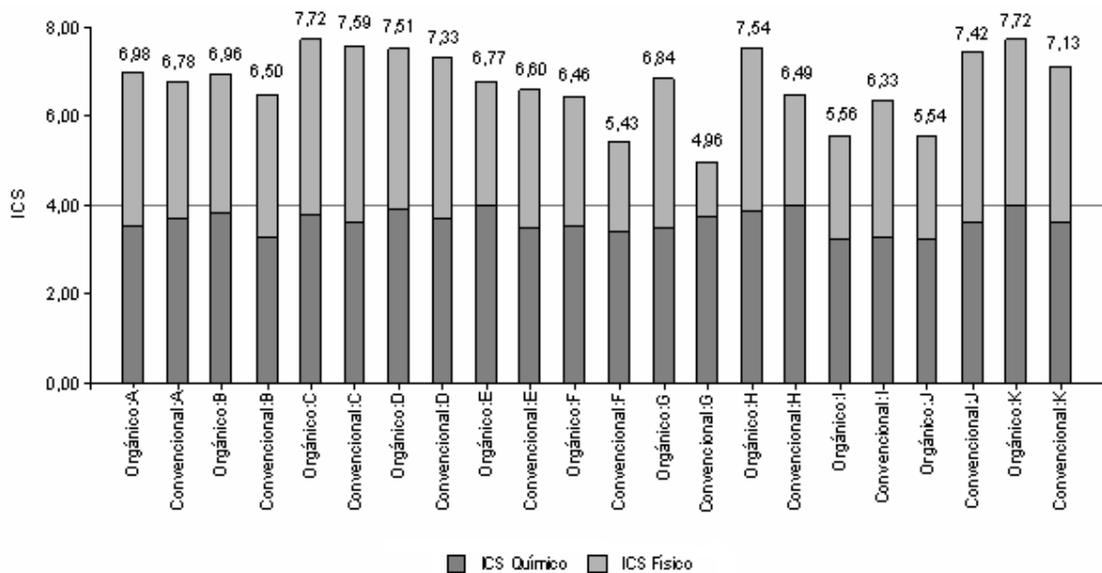


Figura 4.6 ICS por pares de chacras evaluadas.

4.5.3 Análisis del ICS químico.

A partir de la siguiente gráfica, que marca la performance de las chacras en cuanto a los parámetros señalados como químicos, pudo advertirse que la desigualdad en los valores acumulados, es claramente debida a la cantidad de MO (barra inferior). Nuevamente se observa mayoría de chacras orgánicas dentro de las 11 mejores.

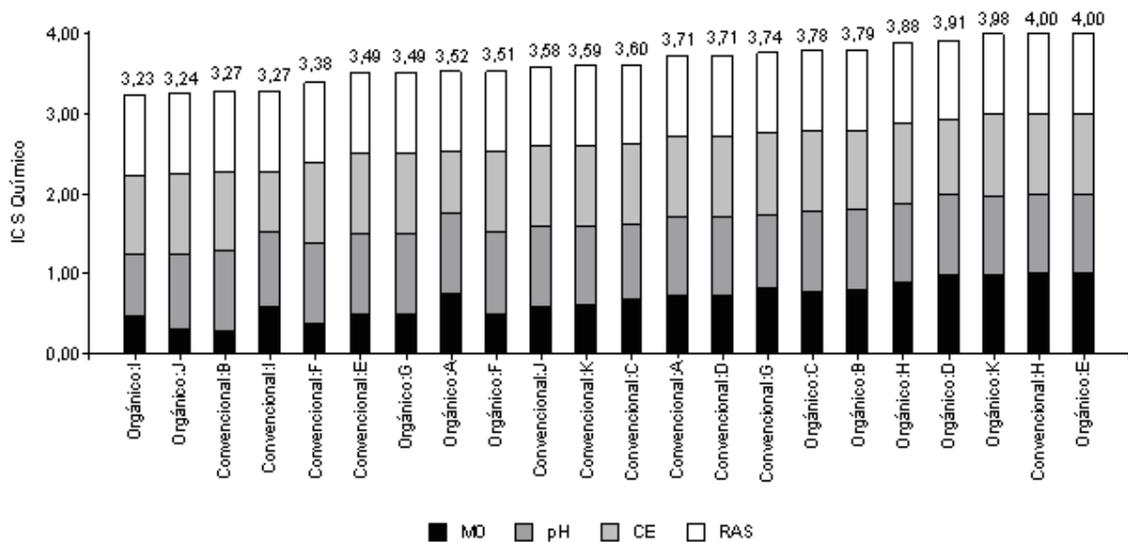


Figura 4.7. Nivel creciente de ICS químico para las 22 chacras.

En el detalle del comportamiento según los parámetros químicos para los dos tratamientos (Figura 4.8), se observa que los problemas se asociaron a la MO (menor valor para el indicador) y también puede verse que fue la principal diferencia entre los tratamientos orgánico y convencional, ya que en el resto de los parámetros son equivalentes.

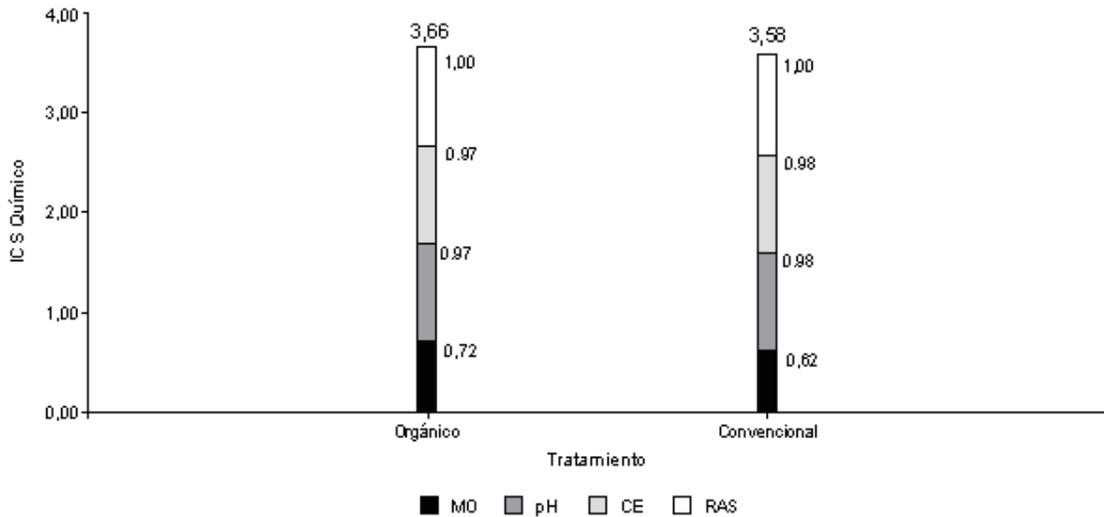


Figura 4.8 Comportamiento de los tratamientos orgánico y convencional de acuerdo al ICS químico.

4.5.4 Análisis del ICS físico

Observando la Figura 4.9, en principio puede distinguirse que el valor de 1,21 de la chacra convencional G marca que tubo grandes problemas respecto a la penetrometría (supera sobre la huella los 6 MPa y supera fuera de la huella los 2 MPa) y tubo muy baja infiltración básica y densidad aparente. También a modo de ejemplo puede notarse que para 2 chacras con similar índice físico (3,05 y 3,06; chacras convencionales I y A) en el primer caso el valor óptimo de 4 no se alcanzó por problemas en la Dap principalmente, y por la Ib en la segunda. En el caso de la chacra orgánica J no aparece la barra perteneciente a la Dap por haber obtenido un valor de indicador de cero.

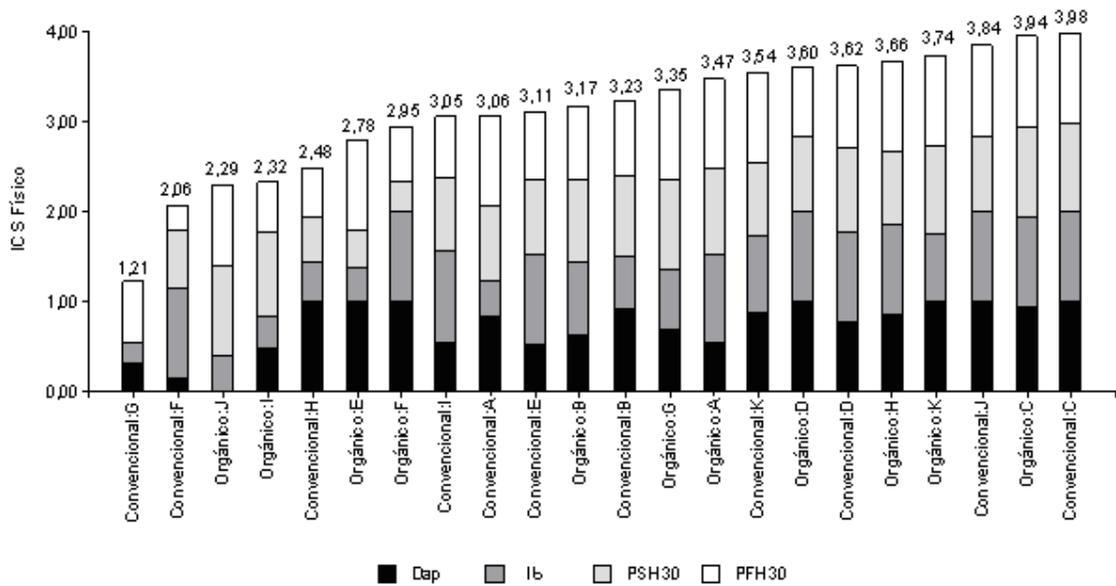


Figura 4.9 Nivel creciente de ICS físico para las 22 chacras.

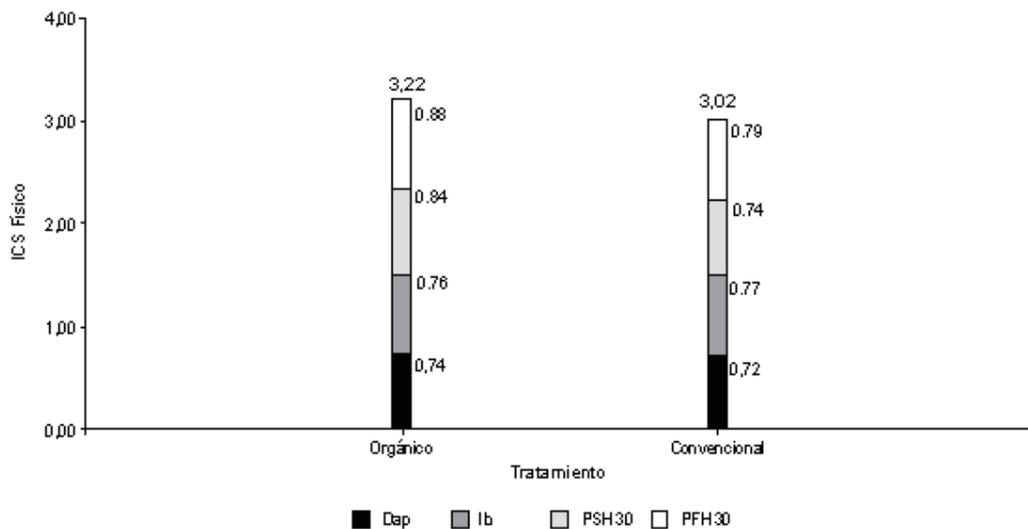


Figura 4.10 Comportamiento de los tratamientos orgánico y convencional de acuerdo al ICS físico.

A partir de esta gráfica que detalla los valores globales de los parámetros físicos (Figura 4.10) se observa que la diferencia a favor del tratamiento orgánico fue debida a los valores de penetrometría fuera y sobre la huella, en tanto que para infiltración básica y densidad aparente se encontraron equiparados.

También fue posible observar, que son la densidad aparente y la infiltración básica los indicadores que en mayor medida comprometieron la performance orgánica, mientras

que todos los parámetros físicos complicaron al desempeño convencional, especialmente la densidad aparente y la penetrometría sobre la huella a los 30 cm.

Analizando los dos índices de calidad, químico y físico (Figura 4.8 y 4.10 respectivamente), puede verse que para cada tratamiento, el ICS físico (3,22 para orgánico y 3,02 para convencional) fue menor que en el caso del ICS químico (3,66 para orgánico y 3,58 para convencional), por lo que es mayor la diferencia que los separa del óptimo de cuatro. Estas figuras muestran nuevamente que las dificultades para lograr el óptimo de ICS se debió a falencias en los indicadores físicos, y que las diferencias químicas se debieron a cantidades dispares de materia orgánica.

4.5.5 Interacción de los indicadores por manejo

Las interacciones que se dieron en los sistemas de manejo orgánico y convencional se presentan haciendo énfasis en la MO.

4.5.5.1 Manejo orgánico

Cuando se dieron buenas cantidades de MO, esta se relacionó con un buen comportamiento del resto de los indicadores. Cuando por el contrario, se encontraron bajos porcentajes de MO, estos se asociaron a altas Dap y bajas Ib. El manejo orgánico tendiente a no disturbar el suelo y con poca MO, sufrió el impacto de la compactación que provoca la maquinaria generando la densificación y en consecuencia la dificultad del agua para penetrar hacia estratos mas profundos del perfil.

Las mayores cantidades de MO se observaron en este manejo.

En referencia a la infiltración básica se obtuvieron valores de indicador por debajo del óptimo, en su mayoría por exceso de infiltración. Esta situación coincidió con altos niveles de MO y buenas densidades aparentes. Una explicación probable sería que la cobertura permanente a través de sus sistemas radicales que exploran y mueren, genera espacios porosos y conectividad en profundidad permitiendo la rápida llegada del riego a estratos inferiores (Sánchez, 1999). Como contrapartida, las chacras que se castigaron por tener bajas infiltraciones, coincidieron con muy bajos niveles de MO y altas densidades aparentes, motivado esto por menor cantidad de material verde en superficie. Las chacras que tuvieron el óptimo de Ib, todas tuvieron buenos niveles de MO, buenas a excelentes densidades aparentes, y se encontraron bien respecto de la penetrometría. A partir de esto se puede

decir que en el tratamiento orgánico la infiltración fue altamente dependiente de la cantidad de MO, ya que sin ella no hay posibilidad de amortiguar la compactación al no haber movimientos del suelo; y de la densidad aparente.

En cuanto a la penetrometría sobre la huella, se puede decir que en la generalidad de los orgánicos se dieron buenos valores y asociados con buenas MO, buenas Dap y buenas infiltraciones.

4.5.5.2 Manejo convencional

En aquellos casos que en los que se presentó bajo contenido de MO, a pesar de ello, se encontraron adecuadas Dap e Ib, debido a los movimientos realizados en los primeros centímetros del suelo. Estos movimientos van generando una rotura de la densificación superficial, y la formación de macroporos que permiten rápidamente la llegada del agua al subsuelo.

En este manejo se observó también que aún teniendo buenos niveles de materia orgánica hay problemas por baja infiltración y bajos valores de penetrometría fuera y sobre la huella.

Se pudo observar también que en los casos de exceso de infiltración, hubo poca MO aunque muy buena densidad aparente y no se encuentra compactación en profundidad. La labranza podría explicar esto ya que afecta la velocidad de infiltración luego de labrarse la tierra, manifestando una mejora debido a que se aflojan costras superficiales o zonas compactadas (Soil Quality Institute, 2001). En tanto, para los casos con baja infiltración se dan muy buenas materias orgánicas, con disímiles densidades aparentes y con compactación en profundidad. Esta situación impensada dados los niveles de MO presentes, podría explicarse teniendo en cuenta que los efectos benéficos de la labranza son de corta duración debido a que también rompe los agregados y deteriora la estructura del suelo, generando así condiciones potenciales para el desarrollo de la compactación, el encostramiento superficial y la pérdida de la porosidad continua que conecta con la superficie (Soil Quality Institute, 2001). Finalmente, para los valores óptimos de Ib en frutales, en general se obtuvieron en coincidencia con buenos a bajos valores de MO y Dap. De lo anteriormente mencionado se puede inferir que la infiltración en convencional resultó indiferente al contenido de MO y a la Dap, siendo determinante la compactación subsuperficial.

Las densidades aparentes limitantes para el buen desarrollo de las raíces, estuvieron muy asociadas a bajas cantidades de MO, bajas infiltraciones y particularmente en convencional con altos valores de penetrometría.

Para altos valores de penetrometría sobre la huella, se vio que en chacras convencionales hubo una asociación con niveles bajos de MO, bajas Dap e infiltraciones.

Al analizar los parámetros MO, Dap, Ib, PFH₃₀ y PSH₃₀ en relación con la textura y entre sí puede notarse que:

La MO es condicionante para la textura franca arenosa, sin provocar problemas de infiltración, en ambos manejos.

En los suelos francos se aprecia que en el manejo orgánico la Dap está directamente asociada con la MO y la Ib, en tanto que en convencional es independiente de la cantidad de MO y la Ib.

La textura franca arcillosa en los dos tratamientos y con distintos contenidos de MO respondió con buena infiltración, buena densidad aparente y sin compactación subsuperficial.

Las mejores cantidades de MO se dieron en mayor medida en el manejo orgánico y asociadas a las texturas finas y gruesas, con óptimos niveles de Dap y buenas a excesivas Ib, en tanto que bajo el manejo convencional, estas se obtuvieron solo sobre texturas finas aunque con problemas por baja Ib. Sin embargo para las mismas texturas se dan, en los dos manejos, cantidades bajas de materia orgánica. Por lo tanto puede inferirse que más allá de la textura, las diferencias en cantidad de MO se dieron en virtud de las prácticas sobre el suelo.

Según lo observado puede decirse que la textura franca aun teniendo buenos niveles de MO es sensible al manejo convencional siendo esta textura la que mas se mostró con Dap altas en superficie revelando valores no sustentables (debajo de 0,5) para el valor de indicador, asociada a compactación a los 30 cm sobre y fuera de la huella, y problemas por baja infiltración. En orgánico en esta textura los datos no son concordantes.

Los %MO que no fueron sustentables (valor de indicador menor de 0,5) se vieron asociados a altas Dap, bajas Ib y a texturas franca y franca arcillosa.

En los dos manejos y en todos los casos en que se castigó al indicador Ib por exceder los límites óptimos, se trató de textura franca arcillosa (solo un caso de franco arcillo arenosa), con buenas Dap aunque disímiles cantidades de MO.

La Ib deficiente se asoció a texturas finas en los dos manejos, solo que en orgánico también lo hizo con bajas MO y altas Dap, mientras que en convencional se relacionó con la penetrometría sobre y fuera de la huella.

Las peores situaciones de compactación sobre la huella se verificaron con texturas francas y franca arenosa o franca arcillo arenosa.

En convencional los altos valores de penetrometría se asociaron con la textura franca, por lo que podría decirse que esta combinación granulométrica del suelo no soportó el manejo convencional. Por otro lado, en orgánico, las mayores compactaciones se dieron con las texturas más gruesas (franca arenosa y franca arcillo arenosa), pudiendo ser esto por la poca respuesta elástica de estas granulometrías.

En orgánico sobresale la asociación entre baja MO, alta Dap, y baja Ib, con independencia de la textura.

Una observación que permite entender la diversidad de los resultados obtenidos y más allá de algunas generalizaciones, es que las formas de manejo no se pueden diferenciar netamente como orgánica o convencional por cuanto existe infinidad de situaciones intermedias. Muchos productores “convencionales” por cuestiones económico-financieras no son capaces de afrontar en muchos casos las labores que acostumbadamente ponen en práctica y van adoptando manejos más amigables, dejando de lado los movimientos de suelo. Por otro lado, los productores “orgánicos” en muchos casos adoptan este manejo, no por una filosofía de sustentabilidad, biodiversidad, o buscar el bienestar del agroecosistema, sino que persiguen el sobreprecio que se obtiene por una producción que reúne características deseables para un mercado cada vez mas selectivo y exigente, sobre todo en términos de residuos fitosanitarios, por lo que el manejo del suelo puede o no necesariamente, ser una consecuencia del tratamiento orgánico. Esto hace que el “manejo orgánico” se reduzca a una “certificación orgánica”. Pero también están aquellos productores que se enmarcan en este tipo de producción porque como ellos mismos declaran: “Yo vivo en la chacra y quiero que mi familia esté segura aquí...”. Por lo tanto no existe el productor que a ultranza siga todas las recomendaciones orgánicas ni convencionales, sino que se dan dentro de un espectro mixto de manejos.

Tabla 4.13 Resumen de los valores de indicadores para los ocho indicadores y para los dos tratamientos. En negrita los valores que están por debajo del 0,5 limitante por sustentabilidad. En infiltración básica se denotan con signo (-) o (+) según haya dado déficit o exceso respectivamente.

Tratamiento	Chacra	MO	pH	CE	RAS	Dap	lb	PSH ₃₀	PFH ₃₀	Textura
Orgánico	A	0,76	1,00	0,76	1,00	0,52	1,00	0,95	1,00	Fa
Orgánico	B	0,79	1,00	1,00	1,00	0,61	0,82 (+)	0,91	0,83	Fa
Orgánico	C	0,78	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	F
Orgánico	D	0,99	1,00	0,92	1,00	1,00	1,00	0,84	0,76	FI
Orgánico	E	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,38 (+)	0,40	1,00	faA
Orgánico	F	0,51	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,62	fA
Orgánico	G	0,49	1,00	1,00	1,00	0,69	0,66 (+)	1,00	1,00	Fa
Orgánico	H	0,88	1,00	1,00	1,00	0,85	1,00	0,81	1,00	Fa
Orgánico	I	0,46	0,77	1,00	1,00	0,47	0,35 (-)	0,55	0,95	F
Orgánico	J	0,31	0,93	1,00	1,00	0,00	0,39 (-)	1,00	0,90	FI
Orgánico	K	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	0,74 (+)	1,00	1,00	Fa
Convencional	A	0,71	1,00	1,00	1,00	0,82	0,40 (-)	0,84	1,00	Fa
Convencional	B	0,27	1,00	1,00	1,00	0,91	0,58 (+)	0,91	0,83	Fa
Convencional	C	0,67	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	fA
Convencional	D	0,71	1,00	1,00	1,00	0,77	1,00	0,95	0,90	FI
Convencional	E	0,49	1,00	1,00	1,00	0,51	1,00	0,84	0,76	Fa
Convencional	F	0,38	1,00	1,00	1,00	0,14	1,00	0,64	0,28	F
Convencional	G	0,81	0,93	1,00	1,00	0,32	0,20 (-)	0,00	0,69	F
Convencional	H	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,43 (-)	0,50	0,55	F
Convencional	I	0,58	0,93	0,76	1,00	0,55	1,00	0,81	0,69	F
Convencional	J	0,58	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	1,00	F
Convencional	K	0,59	1,00	1,00	1,00	0,87	0,86 (+)	0,81	1,00	Fa

5 CONCLUSIONES

Claramente el avenimiento del riego y de la fruticultura ha aumentado la calidad de estos suelos. Los suelos de hoy tienen mayores contenidos de MO (entre un 3,5 y un 4%) y mejores condiciones generales para lograr el potencial del cultivo. Pero es necesario conservar esa calidad lograda a través de una herramienta que pueda dar significancia a nivel global, de las características químicas y físicas resultantes de los distintos manejos.

De lo ensayado y analizado se puede decir que los indicadores MO₀₋₁₀, pH₀₋₁₀, CE₀₋₁₀, RAS₀₋₁₀, Dap, lb, PFH₃₀ y PSH₃₀, son capaces de mostrar el estado y evolución de suelos de un monte de perales, generando información útil que permite hacer inferencias acerca de los resultados y consecuencias del manejo adoptado.

Del valor obtenido dentro de la escala de cero a uno para cada indicador, y de los valores de índice resultante de sucesivas evaluaciones en el tiempo, se puede determinar si un manejo es sustentable.

A través de este índice de calidad de suelos para el Alto Valle puede verse que no existe una diferencia absoluta entre tratamientos orgánico y convencional en chacras plantadas con perales. Esto responde a que el manejo de los suelos no está directamente asociado a la condición de venta de la fruta ("orgánica" o "convencional"). Sí es posible observar que existe una marcada tendencia de las chacras orgánicas a tener mas y mayores valores altos de índice, distinto de las convencionales que tienen valores mas bajos.

Las diferencias entre los manejos queda marcada por el contenido de materia orgánica (dentro de los indicadores químicos) y las penetrometrías sobre y fuera de la huella (dentro de los indicadores físicos).

Por lo tanto, y luego de lo expuesto como conclusiones, se puede dar una respuesta positiva a la hipótesis de este trabajo que decía que:

"Suelos con tratamiento cultural enmarcado en la producción de tipo orgánica presentan índices de calidad de suelos mayores que aquellos culturalmente trabajados en forma convencional".

Para hacer monitoreos periódicos son suficientes muestreos para análisis químicos a los primeros 10 cm de suelo.

Hasta los 20 cm de profundidad el manejo orgánico genera mayor compactación, luego es el manejo convencional el que exhibe las mayores compactaciones, por sobre los valores limitantes para el crecimiento radicular.

En el tratamiento orgánico la infiltración es altamente dependiente de la cantidad de MO y la Dap, en tanto que en convencional la infiltración básica depende de la existencia o no de compactación subsuperficial.

La textura franca es la más afectada por el manejo convencional, manifestándose con bajas infiltraciones, compactaciones, y altas densidades aparentes, independientemente del contenido de MO, por lo que puede decirse que esta combinación granulométrica del suelo no responde bien al manejo convencional.

“Un manejo sustentable para un suelo sometido a riego debe cuidar situaciones sensibles a salinidad, sodicidad o alta densificación del perfil, y tendientes a disminuir la cantidad de materia orgánica del suelo, condiciones estas que afectan directamente la infiltración”.

Desafíos

Desde los resultados obtenidos es posible decir que es de suma utilidad contar en la región con un Índice de Calidad de Suelos que pueda ubicar la situación de una chacra en un valor concreto dentro un rango que califica por sustentabilidad. Los indicadores que finalmente fueron seleccionados son sencillos de obtener, tanto a campo como en laboratorio y pensados para que no resulte oneroso y el productor no prescinda de hacerlos. A su vez resumen una serie de condiciones del suelo en ocho valores, a partir de los cuales se puede rápidamente determinar cual es el problema, si este existiera.

Es entonces un desafío poner al alcance de productores y técnicos este índice, y hacer de su uso una tarea habitual de control de la gestión de las chacras.

Cada establecimiento deberá contar con datos de muestreos de cada 2 o 3 años, según la urgencia de acuerdo a si algún indicador diera fuera de su óptimo, y con su ingreso a una simple planilla se podrá ver en que sentido se evoluciona.

Necesidad de nuevas investigaciones

Se dio en este estudio la particularidad de no encontrar casos que presentasen alcalinidad, salinidad o sodicidad, con lo cual el índice no se vio afectado por parte del pH, la CE o la RAS. En virtud de estos resultados se ve la necesidad de continuar en la búsqueda de validar este índice a través de casos que se vean influenciados en tal sentido.

Por otro lado es importante continuar este estudio sobre un par de situaciones contrastantes de manejo de los suelos y ver su evolución en el tiempo. Así mismo será vital tomar estos casos con condición de monte lo más semejante posible, esto es, igual variedad de pera, mismo portainjerto, misma conducción, edad del monte equivalente, etc. para poder relacionar los manejos con el rendimiento como variable respuesta.

A partir de este trabajo queda también abierta la posibilidad de realizar para el resto de las especies cultivadas en la región y de acuerdo a sus requerimientos particulares, un índice de estas características.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. A. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo.
- Andrews S. S., Karlen D. L. and Mitchell J. P. 2002 A comparison of soil quality indexing method for vegetable production systems in Northern California. Elsevier Science B. V.
- Arshad, M. A. y. Martin, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. Elsevier Science B.V.
- Aruani, M.C.; Behmer, S. N.; Sánchez, E. E. y Alvarez, O. 2002. Coberturas verdes. Efecto sobre la compactación inducida por el tráfico agrícola. Congreso Argentino de Horticultura.
- Aruani, M. C.; Sánchez, E. E.; Reeb, P. 2006. Cambios en las propiedades de un suelo franco bajo producción orgánica de manzano utilizando coberturas vegetales. CI. SUELO (ARGENTINA) 24 (2) 131-137
- Aruani, M. C.; Sánchez, E. E.; Reeb, P. y Aun, E. 2007. Variación de la concentración de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle del Río Negro. Rev. FCA UN Cuyo. Tomo XXXIX nº 2: 25-33
- Aruani, C. y Behmer, S. 2004. Efecto de la granulometría y la compactación del suelo sobre la distribución de raíces en manzano. RIA, 33 (2): 43-54. Agosto 2004. INTA, Argentina.
- Aruani, C. y Sánchez, E. El manejo del suelo afecta la oferta nutricional en los montes frutales. http://www.inta.gov.ar/altovalle/actividad/investigacion/fruticultura/Fertilizar_raices.pdf
- Bates, R.G. 1954. Electrometric ph determinations. John Wiley and Sons, Inc. New York. 23 pp
- Bestvater, C. y Casamiquela C. 1983. Distribución textural de los suelos del Alto Valle del Río Negro. INTA.
- Blanco, Graciela. 1999. Fruticultura moderna. 9 años de Cooperación Técnica INTA/GTZ.
- Boltshauser, V; Villarreal, P. 2007. Área irrigada de la provincia de Río Negro. Caracterización socio-económica y técnico-productiva.
- Bouma, J. 2002. Land quality indicators of sustainable land management across scales. Elsevier Science B. V.
- Bouyoucus, G. W. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soil. Soil Sci. 23: 343-353
- Bremner J.M. 1996. Nitrogen-Total. 1085-1123. In Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. /Ed. D.L. Sparks), SSSA-ASA, Madison, WI, USA.
- Burger, J. A.; Kelting, D. L. 1999. Using soil quality indicators to assess forest stand management. Forest Ecology and Management 122, 155-166. Elsevier Science B. V.

- Casamiquela, C; Nolting, J.; Horne, F. Requena, A. 1984. Documento básico para el programa "Riego, salinidad, y drenaje". INTA Alto Valle.
- Cantú, M. P.; Becker, A.; Bedano, J. C.; Schiavo, H. F. 2007. "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices" *Ci. Suelo (Argentina)* 25(2): 173-178.
- Censo Provincial de Agricultura bajo Riego. 2005. Río Negro, Argentina.
- Carter, M. R.; Gregory, E. G.; Anderson, D. W.; Doran, J. W.; Jansen, H.H. and Pierce, F. J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. Elsevier Science B. V.
- Carter, M. R. 1996. Concepts of soil quality. Soil quality is in the hands of the land manager. Advances in soil quality for land management. Science practice and policy. University of Ballarat, Soil & Land Management. Victoria, Australia.
- Carter, M. R. 2002. Soil Quality for sustainable land management. Organic matter and aggregation interactions that maintain soil function. *Agronomy journal* 94:38-47
- Consejo Federal de Inversiones, Provincia de Río Negro, Estación Experimental Agropecuaria Alto Valle, Instituto de Suelos-CIRN-INTA. 2008. Estudio del impacto de la producción frutícola sobre la calidad de los suelos del Alto Valle del Río Negro. Informe de Avance. Área Piloto 1.
- Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. 1992. Rio de Janeiro, República Federativa del Brasil.
- Di Prinzio, A; Jorajuría, D.; Behmer, B. Ayala, C. Aragón, A. 1998. El tráfico en el monte frutal: el tapiz vegetal y la distribución de la compactación. *Agro-Ciencia* 14 (2): 283-288.
- Doran, J. W.; Parkin T. 1994. Defining and assessing soil quality. Soil Science Society of America.
- Doran, J. W., Liebig, M., Santana, D. P., 1998. Soil health and global sustainability. Proceeding of the 16th World Congress of Soil Science. August 20-26, 1998. Montpellier, France.
- Doran, J. W.; Zeiss, M. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. Elsevier Science B. V.
- Draghi, L. 2001 Compactación del suelo del huerto frutal bajo diferentes intensidades de tráfico. Biblioteca Dto. de Ingeniería Agrícola y Forestal. UNLP. Unpb 161p
- Draghi, L; Jorajuría, D; Cerrisola, C.; Márquez Delgado, L.; Botta, G. 2003. Reología del suelo de un monte frutal relacionada al manejo interfilas y a la intensidad de tráfico. VII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Balcarce. vol. 1 pág. 37.
- Draghi, L. M. 2005. Mecanización del huerto frutal: Tráfico controlado con vehículos de bajo peso/eje y altas intensidades de tráfico. *Reología del suelo agrícola bajo tráfico*: 85-106.
- Dumanski, J. 1997. Criteria and indicators for land quality and sustainable land management. *ITC Journal*. 3/4: 216-222.
- Ferraras, L.; Magra, G; Besson, P; Kovalevski, E. & García, F. 2007. *CI. SUELO (ARGENTINA)* 25(2): 159-172.

- Foreign Agricultural Service. USDA. 2008. World markets and trade.
- Fuentes Yagüe, J. L. 1998. Técnicas de riego. Tercera edición. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Galantini Juan A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Tecnologías en análisis de suelos. (Marbán L. y Ratto S.E. ed.). 103-114 pp.
- Gerster, G.; Bacigaluppo, S.; De Battista, J.; Cerana, J. 2008. Distribución de la compactación en el perfil del suelo utilizando diferentes neumáticos. Consecuencias sobre el enraizamiento del cultivo de soja. Soja. Para mejorar la producción 39. INTA EEA Oliveros.
- Glover, J. D.; Reganold, J. P.; Andrews, P. 2000. Systematic method for rating soil quality of conventional, organic and integrated apple orchard in Washington State. Elsevier BV
- Granatstein D., Bezdicek D. F. 1992. The need for a soil quality index: local and regional perspectives. American Journal of alternative Agriculture.
- Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. January 2001.
- Hewitt, Paul G.. 1992 Conceptual physics. Addison-Wesley Publishing Company, Menlo Park, California, U.S.A.,
- Hussain, I.; Olson, K.R.; Wander, M.M., Karlen, D. L. 1999. Adaptation of soil quality indices and application to three tillage systems in southern Illinois. Elsevier Science B. V.
- InfoStat, 2009. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ingham, E. R. 1999. THE SOIL FOOD WEB in: A. J. Tugel y A. M. Lewandowski (eds). Soil Biology Primer. NRCS Soil Quality Institute, Ames, IA.
- Inventario integrado de los recursos naturales de la Provincia de Río Negro : geología, hidrología, geomorfología, suelos, clima, vegetación u fauna / editores: Rubén E. Godagnone, Donaldo E. Bran.-Buenos Aires : INTA, 2008. 392 p. : il.
- Israel Ministry of Foreign Affairs. <http://www.mfa.gov.il/MFA>
- Jackson, M. L. 1982. Análisis químico de suelos. Edición Omega, S.A. Barcelona. 662 pp.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. McGraw-Hill Co., New York.
- Kelting, D. L.; Burguer, J. A.; Patterson, S. C.; Aust, W. M.; Miwa, M.; Trettin C. S. 1999. Soil quality assessment in domesticated forests. A southern pine example. Elsevier Science B. V.
- Karlen, D. L.; Ditzler, C. A.; Andrews S. S. 2003. Soil quality: why and how? Geoderma. Volume 114, Issues 3-4, pages 145-156.
- Lal, R. 1994. Métodos y normas para evaluar el uso sostenible de los recursos suelo y agua en el trópico. (editor) CRC Press.

- Larson, W. E.; Pierce, F. J. 1994. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. Soil Science Society of America.
- Ley 26.093 – Boletín Oficial N° 30.905. 2006. Régimen de regulación y promoción para la producción y uso sustentables de biocombustibles. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Argentina.
- Mendía, J. M.; Irisarri, J. 1995. Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el monte frutal. Curso internacional de suelo, Riego y Nutrición. Gral. Roca, RN, Argentina.
- Olsen, R. S., Cole, C. V., Watanabe, F. S, Dean, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. U.S. Government Printing Office Washington, D. C.
- Soane, B. D. 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspect. Elsevier Science Publishers B.V.
- Soil quality institute, 1998. Soil quality test kit guide. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service and Natural Resources Conservation Service.
- Soil quality institute. 2001. Soil quality test kit guide. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service and Natural Resources Conservation Service.
- Soil Quality Institute. 2001. Guidelines for Soil Quality Assessment in Conservation Planning. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Soil Quality Institute. 2003. Soil Compaction: Detection, Prevention, and Alleviation. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service.
- Sverre Petterssen, PH. 1962. Introducción a la meteorología. Ed. Espasa-Calpe S.A. Madrid.417pp
- Reganold, J. P. 1992. Effects of alternative and conventional farming systems on agricultural sustainability. Department of Crop and Soil Sciences Washington State University Washington State University Pullman, WA, USA.
- Richards, L. A. (editor). (1954). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual de Agricultura N° 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América.
- Rodríguez A y Muñoz A. 2006. Síntesis Agrometeorológica para el período 1990-2004. EEA Alto Valle. Ed. INTA. Boletín Divulgación Técnica n° 53, 38 pp.
- Sánchez, E. E. 1999. Nutrición mineral de fruta de pepita y carozo. INTA Alto Valle. RN. Argentina.
- Sánchez, E. E. 2001. Manejo del suelo y la nutrición mineral en la producción orgánica. II Curso Internacional de Pera. General Roca, RN, Argentina.
- Schafield, R. K. & A. W. Taylor 1955. The measurement of soil ph. Soil sci. Soc. Amer. Proc. 19:164 -167.

- Schoenholtz, S.H.; Van Miegroet, H.; Burger J. A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Elsevier Science B. V.
- Tallarico, L. 1974. El método rápido de la mezcla alcohol-agua para evaluar la estructura del suelo. IDIA. 313-314, enero – febrero: 1-4 ed. 1977.
- Tassara, M. 2007. Las heladas primaverales. Protección en frutales de clima templado-frío. INTA. EEA Alto Valle. Centro Regional Patagonia Norte.
- U. S. Salinity Laboratory Staff 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S. Dept. Agr. Handbook 60. 172 pp.
- Vogeler, I; Cichota, R.; Sivakumaran, A.; Deurer, A. and McIvor, I. 2006. Soil assessment of apple orchard under conventional and organic management. Australian Journal of soil Reserch 44 (8) 745-752.
- Wolkowski, R.P. 1990. Relationship between wheel-traffic-induced soil compaction, nutrient availability, and crop growth: a review. Journal of production agriculture. Volume 3, nmo. 4, october-december 1990.

7 ANEXO



Figura 7.1 Manejo orgánico.



Figura 7.2 Manejo convencional

Determinaciones a campo propuestas en la guía de la valija edafológica.

Densidad aparente (Método del cilindro (Coile, 1936))

Estas determinaciones se hicieron con un cilindro de 10 cm de alto y 6,20 cm de diámetro interno. Este se enterró y se sacó con pala y luego se rasó en los extremos para tener el volumen justo (Figura 7.3). Se secaron a 105° C por 24 hs y se determinó la densidad aparente por gravimetría (peso / volumen).



Figura 7.3 Extracción de muestra para determinar densidad aparente.

Infiltración.

En este caso fue utilizado el método del anillo simple de carga constante. Fueron distribuidos en el interfilas de la calle central de cada chacra 4 anillos de metal de 21 cm de diámetro interno por 12 cm de alto, los cuales se enterraron 6 cm. Sobre el disco se apoyó un plato con un agujero central por donde el agua fue aplicada desde un tubo cilíndrico que tiene un pico vertedor y está graduado en mm de lámina de agua.

A medida que el agua fue infiltrando se tomó lectura de las láminas consumidas con una periodicidad de 5 minutos por un lapso de 1 hora 20 minutos (Figura 7.4). Luego se efectuaron los cálculos de la velocidad de infiltración.

Se determinó infiltración básica a partir del promedio de los valores de la curva de infiltración que comenzaron a hacerse estables.



Figura 7.4 Determinación de infiltración básica.

Respiración.

Para realizar esta evaluación se ubicó el sitio del ensayo sobre la calle central. Este fue despojado de todo material verde para evitar distorsiones en los resultados a través de su respiración. Se clavó en el suelo un anillo de 15 cm de diámetro interno y 13 cm de altura dejando sobre la superficie unos 7 cm. Luego se cerró con una tapa que en su estructura contiene tapones de goma. Se dejó incubar durante media hora lográndose una atmósfera enriquecida en CO₂. A su vez se tomó la temperatura del suelo, el cual ya se encontraba regado y a capacidad de campo. Transcurrida la media hora se hicieron 10 aspiraciones con jeringa totalizando un volumen de 500 cm³. El aire así extraído de la atmósfera enriquecida con CO₂ pasa a través de un tubo Dräger que contiene un reactivo que se colorea de violeta con el CO₂. Así se puede leer sobre el mismo tubo el porcentaje del gas contenido en esa atmósfera sobre una escala que lo relaciona con el volumen extraído (Figura 7.5). Este valor luego fue corregido a través de fórmula considerando temperatura, humedad, espacio poroso obtenido desde la Dap obteniéndose los Kg C-CO₂/ha.día que respiró cada suelo.



Figura 7.5 Determinación de respiración del suelo.

Penetrometría.

Esta determinación fue realizada con un penetrómetro de golpe que es recomendado por obtener rápidos y visibles resultados. Este instrumento está hecho en acero de fundición y cuenta con un largo total de 1,4 m, constituido por un cono de 60° sobre su lado inferior, una varilla graduada cada 5 cm, una masa de 2 kg que tiene un recorrido de 0,5 m en la mitad superior del penetrómetro. Al ubicar este sobre el suelo se realiza la determinación alzando la masa hasta el tope superior de su recorrido y dejándola caer libremente. Así, este acto, genera una fuerza de 1 kgm que va haciendo avanzar al cono en profundidad. Se contabilizan los golpes que demanda enterrar 5 cm de la barra graduada y luego este valor sencillo del número de golpes se transforma en medidas de presión (Mpa) (Figura 7.6)



Figura 7.6. Determinación de penetrometría.

Análisis foliar

Tabla 7.1 Composición nutricional de las muestras foliares para las 22 chacras.

Tratamiento	Chacra	Nt (%)	P (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
Orgánico	A	2,298	0,16	1,88	1,27	0,37	24	93	34	49	9
Orgánico	B	1,703	0,17	1,09	2,03	0,37	27	101	25	42	7
Orgánico	C	1,971	0,17	1,96	1,38	0,34	11	92	42	30	5
Orgánico	D	1,908	0,19	1,85	1,37	0,32	24	100	35	45	8
Orgánico	E	1,687	0,17	1,60	1,58	0,32	17	72	38	41	8
Orgánico	F	2,215	0,21	1,64	1,54	0,36	12	113	26	38	6
Orgánico	G	1,843	0,19	1,42	1,39	0,41	24	96	39	38	9
Orgánico	H	2,008	0,15	1,26	1,20	0,42	28	101	29	35	9
Orgánico	I	1,904	0,20	1,74	1,42	0,34	18	98	47	33	15
Orgánico	J	1,808	0,16	2,09	1,37	0,29	20	96	25	35	9
Orgánico	K	1,947	0,18	1,83	1,28	0,41	18	81	38	39	9
Convencional	A	1,635	0,18	1,74	1,35	0,39	18	93	40	37	9
Convencional	B	1,96	0,17	2,01	1,14	0,30	13	103	37	31	10
Convencional	C	1,481	0,17	1,83	1,48	0,29	30	100	39	41	11
Convencional	D	1,795	0,14	1,85	1,09	0,34	30	95	43	45	10
Convencional	E	1,75	0,14	1,89	1,08	0,27	25	83	40	29	8
Convencional	F	1,973	0,18	1,76	1,46	0,36	31	110	42	40	9
Convencional	G	1,667	0,16	1,34	1,39	0,46	25	106	35	35	8
Convencional	H	1,982	0,20	1,98	1,14	0,28	20	101	48	40	11
Convencional	I	1,59	0,19	1,39	1,06	0,32	29	73	41	45	8
Convencional	J	1,708	0,16	1,89	1,36	0,29	21	75	35	38	5
Convencional	K	1,985	0,19	1,83	1,29	0,32	18	89	49	34	7
Valores normales para pera. (Sánchez, 1999)		2,10 - 2,50	0,13 - 0,45	1,10 - 2,50	1,20 - 2,00	0,24 - 0,50	18 - 60	50 - 250	30 - 60	30 - 200	5 - 15

Resultados obtenidos de los análisis estadísticos

Tabla 7.2 Eigenvalue y porcentajes de la variabilidad explicada y acumulados respectivos

Valores propios de la matriz de correlación y estadísticas relacionadas				
	Eigenvalue	% Total	Acumulativo	Acumulativo
1	8,61	34.3	8,61	34.3
2	4,45	17.9	13,06	52,2
3	3,22	10.42	16,28	62,62
4	2,23	8,56	18,51	71,18
5	1,57	6,04	20,08	77,22
6	1,31	5,02	21,38	82,24
7	1,20	4,63	22,59	86,88
8	0,87	3,36	23,46	90,24
9	0,63	2,44	24,1	92,68
10	0,48	1,85	24,58	94,53
11	0,40	1,53	24,98	96,06
12	0,37	1,43	25,35	97,49
13	0,23	0,88	25,57	98,36
14	0,14	0,55	25,72	98,91
15	0,09	0,35	25,81	99,26
16	0,07	0,28	25,88	99,54
17	0,06	0,25	25,95	99,79
18	0,03	0,11	25,97	99,9
19	0,02	0,08	26	99,98
20	0	0,01	26	100
21	0	0	26	100

Eigenvalues ≥ 1 o que expliquen $\geq 5\%$ de la variabilidad

Tabla 7.3 Peso de las variables para los distintos factores o eigenvalues.

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7
%MO 0-10	0,5	0,71	-0,04	0,15	-0,28	0,02	-0,08
%MO10-20	0,6	0,6	-0,36	0,07	-0,22	-0,11	-0,17
%MOj 0-10	0,55	0,35	-0,49	0,13	-0,35	0,36	0,01
% MOj de MO	0,25	-0,44	-0,56	0,06	-0,19	0,54	0
respiración	0,34	-0,1	0,19	0,21	-0,44	-0,41	0,59
pH 0-10	0,49	-0,5	0,15	-0,01	-0,41	0,12	-0,22
pH 10-20	0,37	-0,66	0,27	-0,01	-0,26	0,29	-0,06
CE 0-10	0,92	-0,08	0,18	-0,15	-0,02	-0,13	-0,01
CE 10-20	0,94	0,19	-0,08	-0,05	0,15	0,07	0,09
Na 0-10	0,81	-0,28	0,35	-0,23	0	-0,1	-0,07
Na 10-20	0,91	0,03	0,15	-0,12	0,27	0,16	0,07
K 0-10	0,7	-0,09	-0,27	0,17	0,28	-0,18	-0,05
K 10-20	0,49	0,2	-0,58	-0,08	-0,38	-0,23	-0,08
Ca+Mg 0-10	0,88	-0,01	0,3	0,02	0,05	-0,13	0,17
Ca+Mg 10-20	0,83	0,24	0,04	0,14	0,31	0,13	0,14
RAS 0-10	0,74	-0,36	0,3	-0,29	0,01	-0,04	-0,17
RAS 10-20	0,83	-0,21	0,16	-0,3	0,16	0,18	0
Dap	-0,09	-0,88	-0,05	0,24	0,02	-0,24	0,05
Inf. Básica	-0,22	0,48	0,27	0	0,16	0,47	0,59
PSH 10	-0,06	-0,26	0,25	0,71	0,05	0,3	-0,26
PSH 30	0,46	-0,02	-0,45	0,54	0	-0,08	0,15
PFH 10	0,02	-0,69	-0,09	0,61	-0,02	-0,01	0,18
PFH 30	0,26	-0,56	-0,57	-0,02	0,35	-0,05	0,18
N%	0,26	0,42	0,59	0,55	-0,07	-0,03	0,05
P (ppm)	0,22	0,35	0,35	0,53	0,28	-0,1	-0,4
valor máximo	0,94	0,88	0,67	0,71	0,44	0,54	0,59
90% del valor máximo	0,846	0,792	0,603	0,639	0,396	0,486	0,531
ó							
>= 0,4							

Tabla 7.4 Correlaciones de las variables

	%MO 0-10	%MO 10-20	%MOj 0-10	%MOj 10-20	MOj de MO	Resp.	pH 0-10	pH 10-20	CE 0-10	CE 10-20	Na 0-10	Na 10-20	K 0-10	K 10-20	Ca+Mg 0-10	Ca+Mg 10-20	RAS 0-10	RAS 10-20	Dap	lb	PSH 10	PSH 30	PFH 10	PFH 30	N%	P (ppm)
%MO 0-10	1,00	0,81	0,73	-0,14	0,20	0,04	-0,22	0,36	0,54	0,15	0,40	0,42	0,37	0,48	0,08	0,22	0,61	0,09	0,11	0,27	0,40	-0,30	0,58	0,30		
%MO 10-20		1,00	0,76	0,09	0,12	0,09	-0,24	0,45	0,65	0,19	0,41	0,48	0,72	0,41	0,56	0,22	0,51	0,12	0,25	0,36	0,33	-0,08	0,27	0,26		
%MOj 0-10			1,00	0,55	0,12	0,14	-0,02	0,34	0,57	0,15	0,40	0,30	0,63	0,26	0,43	0,31	0,35	0,02	0,04	0,48	0,09	0,09	0,12	0,01		
% MOj de MO				1,00	-0,05	0,31	0,36	0,11	0,19	0,10	0,15	0,18	0,30	-0,02	0,09	0,19	0,25	0,31	0,18	0,15	0,32	0,40	0,49	-0,46	-0,29	
Resp.					1,00	0,23	0,20	0,37	0,20	0,34	0,17	0,11	0,17	0,48	0,15	0,23	0,16	0,24	0,00	0,10	0,29	0,26	-0,02	0,34	-0,04	
pH 0-10						1,00	0,81	0,46	0,32	0,48	0,37	0,33	0,10	0,42	0,23	0,47	0,45	0,30	0,47	0,11	0,09	0,28	0,17	0,08	-0,12	
pH 10-20							1,00	0,36	0,19	0,46	0,35	0,21	-0,07	0,36	0,15	0,48	0,48	0,39	0,27	0,20	0,06	0,40	0,18	-0,01	-0,13	
CE 0-10								1,00	0,84	0,93	0,83	0,55	0,43	0,93	0,68	0,83	0,79	0,00	0,23	0,03	0,25	0,04	0,17	0,21	0,15	
CE 10-20									1,00	0,66	0,92	0,66	0,49	0,83	0,92	0,57	0,75	0,26	0,03	0,18	0,46	0,12	0,25	0,24	0,21	
Na 0-10										1,00	0,78	0,40	0,23	0,83	0,51	0,96	0,85	0,15	0,28	0,02	0,11	0,01	0,14	0,14	0,14	
Na 10-20											1,00	0,58	0,20	0,84	0,87	0,72	0,91	0,17	0,02	0,11	0,30	0,07	0,24	0,27	0,24	
K 0-10												1,00	0,42	0,55	0,69	0,37	0,45	0,08	0,29	0,05	0,44	0,19	0,52	0,10	0,19	
K 10-20													1,00	0,28	0,26	0,19	0,15	0,20	0,31	0,29	0,51	0,13	0,20	-0,22	-0,06	
Ca+Mg 0-10														1,00	0,79	0,68	0,70	0,05	0,06	0,01	0,28	0,04	0,08	0,39	0,23	
Ca+Mg 10-20															1,00	0,39	0,61	0,29	0,11	0,06	0,42	0,03	0,16	0,39	0,37	
RAS 0-10																1,00	0,87	0,20	0,35	0,01	0,08	0,02	0,20	0,04	0,11	
RAS 10-20																	1,00	0,00	0,17	0,14	0,20	0,04	0,33	0,07	0,06	
Dap																		1,00	0,49	0,33	0,07	0,78	0,51	-0,26	-0,21	
Inf. Básica																			1,00	0,01	-0,20	0,28	-0,35	0,29	-0,01	
PSH 10																				1,00	0,18	0,47	-0,06	0,34	0,38	
PSH 30																					1,00	0,37	0,43	0,10	0,22	
PFH 10																						1,00	0,44	0,02	-0,02	
PFH 30																							1,00	0,48	-0,35	
N%																								1,00	0,61	
P (ppm)																									1,00	

Las correlaciones son significativas a $p < ,05000$

N=22

Tabla 7.5 Chequeo de redundancia a través de análisis de regresión

	%MO 0-10	pH 0-10	CE 0-10	RAS 0-10	Dap	PFH 30	PSH 30	lb
%MO 0-10	1	0,04	0,36	0,08	-0,61	-0,30	0,27	0,09
pH 0-10		1	0,46	0,47	0,30	0,17	0,09	-0,47
CE 0-10			1	0,83	0,00	0,17	0,25	-0,23
RAS 0-10				1	0,20	0,20	0,08	-0,35
Dap					1	0,51	0,07	-0,49
PFH 30						1	0,43	-0,35
PSH 30							1	-0,20
lb								1

Correlaciones >= 0,60

Tabla 7.6 Valores de R^2 para la regresión entre los indicadores seleccionados y los contenidos de nutrientes foliares.

Indicadores seleccionados	N (%)	P (%)	Ca (%)	K (%)	Mg (%)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	B (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
%MO 0-10	0,01	0,00	0,05	0,01	0,06	0,00	0,05	0,00	0,15	0,01
pH 0-10	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,37	0,01	0,02	0,16	0,16
CE 0-10	0,02	0,04	0,01	0,05	0,00	0,07	0,03	0,01	0,42	0,01
RAS 0-10	0,05	0,06	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,23	0,11
Dap	0,07	0,00	0,02	0,00	0,07	0,03	0,22	0,01	0,01	0,00
lb	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,06	0,12	0,00	0,00	0,07
PSH 30	0,00	0,02	0,09	0,01	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02
PFH 30	0,01	0,11	0,00	0,00	0,02	0,02	0,15	0,01	0,00	0,05

Rectas de transformación de los datos de campo o laboratorio al valor indicador.

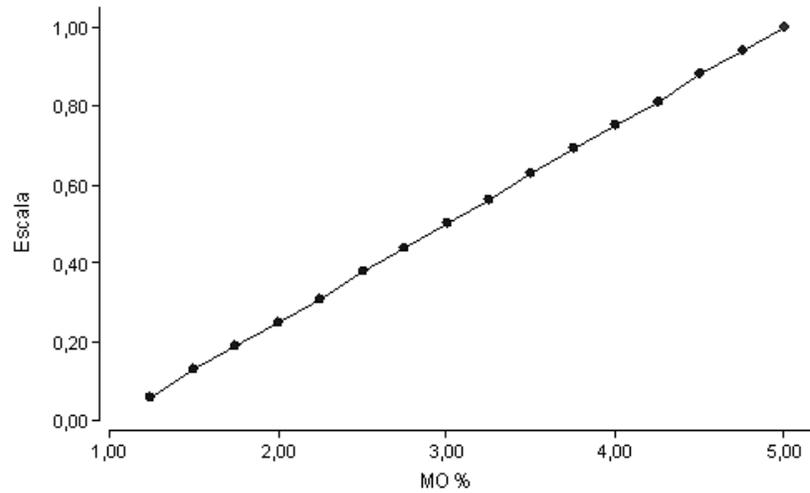


Figura 7.7 Recta de conversión del porcentaje de materia orgánica a la escala de su indicador.

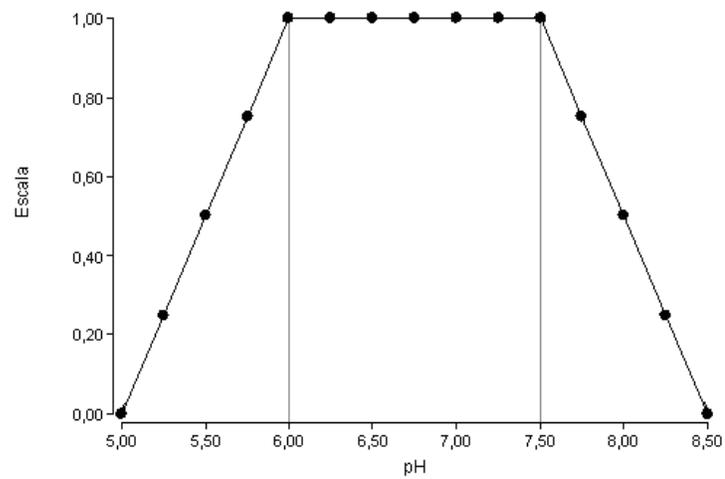


Figura 7.8 Recta de conversión del pH a la escala de su valor de indicador.

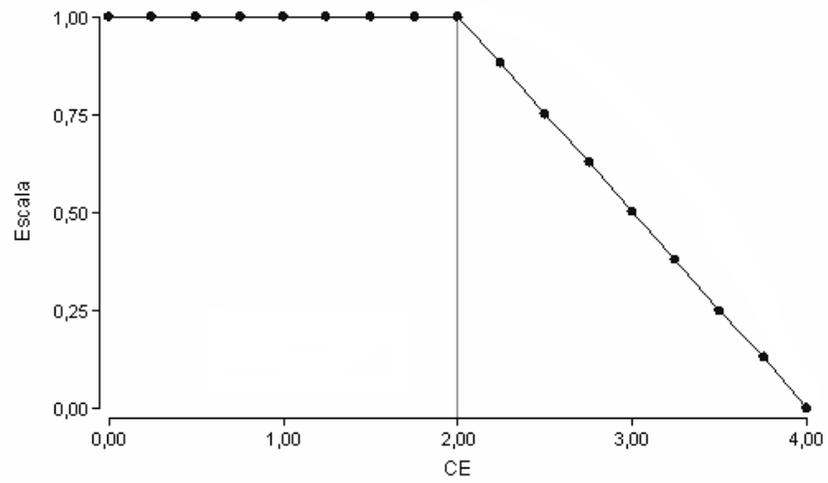


Figura 7.9 Recta de conversión de la conductividad eléctrica (dS/m) a la escala de su valor de indicador.

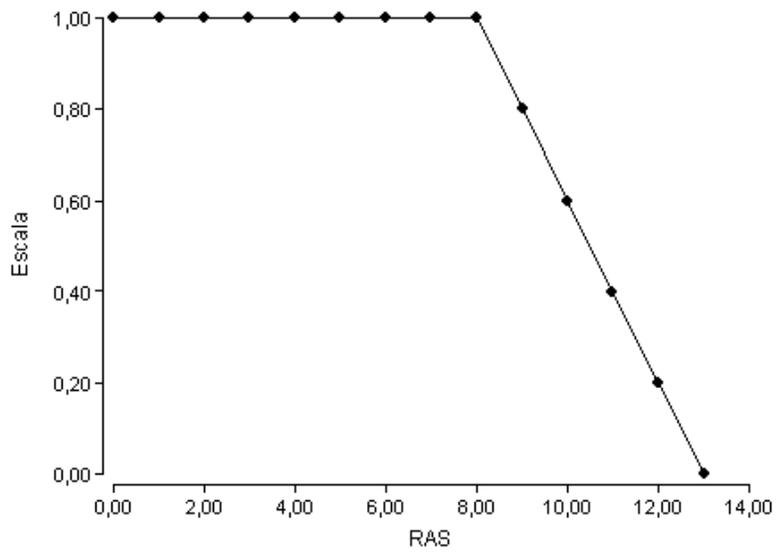


Figura 7.10 Recta de conversión de la RAS a la escala de su valor de indicador.

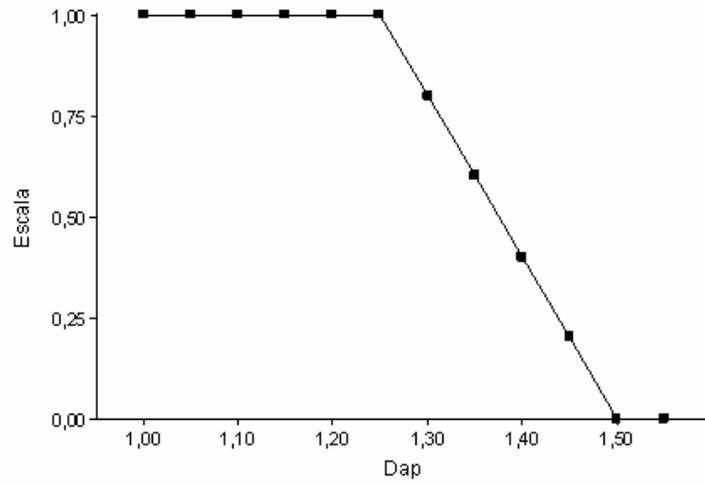


Figura 7.11 Recta de conversión de la densidad aparente (g/cm^3) de texturas finas a la escala de su valor de indicador.

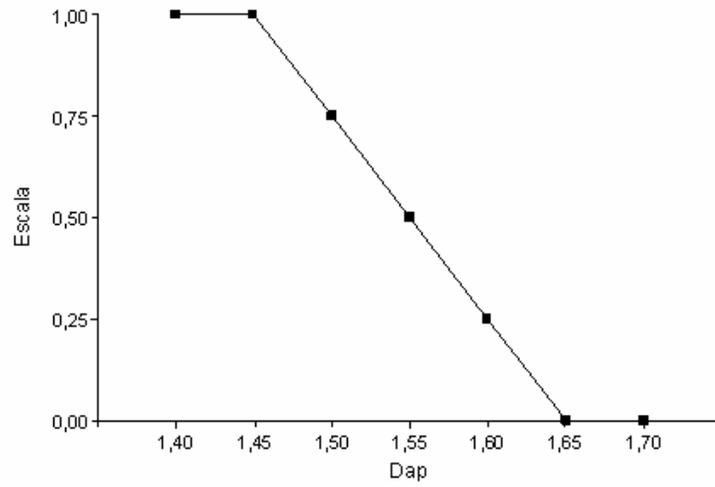


Figura 7.12 Recta de conversión de la densidad aparente (g/cm^3) de texturas gruesas a la escala de su valor de indicador

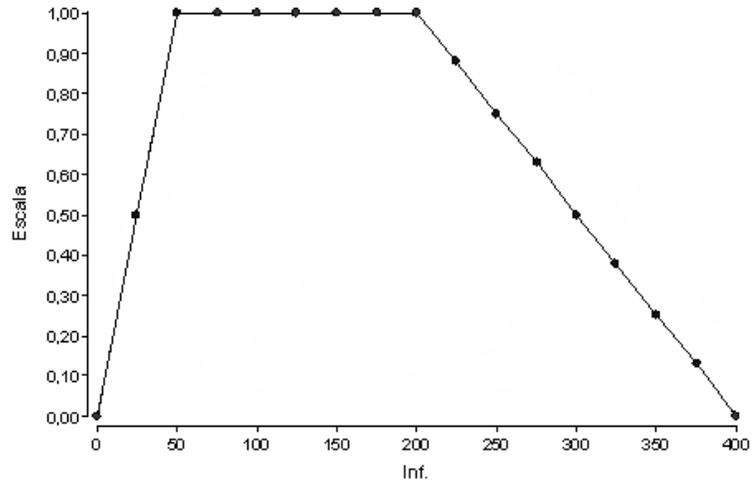


Figura 7.13 Recta de conversión de la infiltración básica (mm/h) a la escala de su valor de indicador.

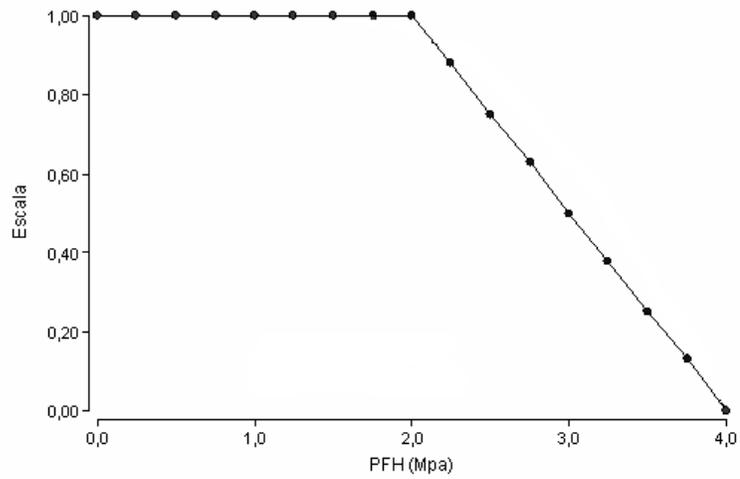


Figura 7.14 Recta de conversión de la penetrometría fuera de la huella a los 30 cm de profundidad (MPa) a la escala de su valor de indicador.

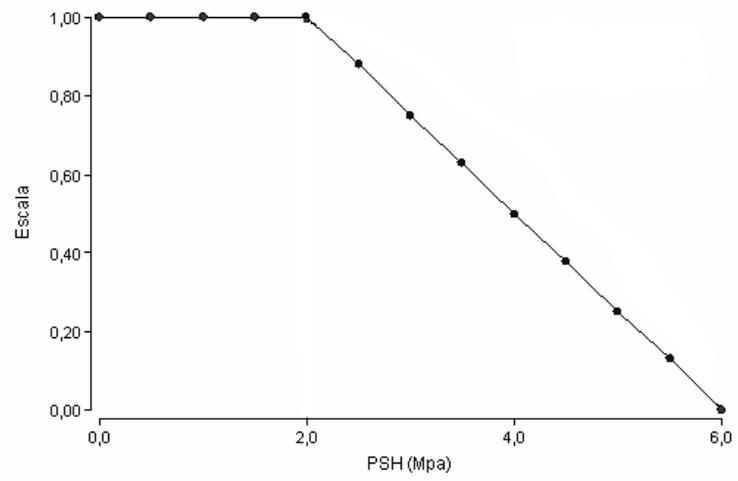


Figura 7.15 Recta de conversión de la penetrometría sobre de la huella a los 30 cm de profundidad (MPa) a la escala de su valor de indicador.