

# PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS DEL VALLE DE AZAPA Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS

**Jorge Carrasco J.**  
Ing. Agrónomo, Dr.  
INIA Rayentue.

**Cristian Aguirre A.**  
Ing. Agrónomo  
INIA Rayentue.

**Fabiola Sepúlveda S.**  
Ing. Agrónomo  
INIA La Platina.

Las propiedades físicas de los suelos agrícolas determinan, en gran medida, la capacidad productiva de los usos a los que el hombre los somete. La condición física de un suelo determina, principalmente, la capacidad de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de retención del agua, y la retención de nutrientes del mismo.

Para los productores de hortalizas del Valle de Azapa, se considera necesario conocer las propiedades físicas del suelo más relevantes, para entender cómo influyen en el crecimiento de las plantas, de qué forma la actividad agrícola puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles, para un óptimo desarrollo de sus cultivos.

En el Valle de Azapa es común la producción de hortalizas, siendo la aradura con arado de discos una de las labores fundamentales de preparación de suelos para el establecimiento de los cultivos. Esta labor se realiza cada dos años, para cumplir con dos objetivos fundamentales: el primero, preparar el suelo para la siembra o plantación y, el segundo, remover el suelo con la idea de llevar a la superficie a los patógenos del suelo, en especial nemátodos, principalmente del género *Meloydogine*, que atacan principalmente Solanáceas, familia que está representada en el valle por los cultivos de tomate y pimiento. De esta forma, los nemátodos se exponen al sol y a las condiciones de temperatura, logrando con ello un control y disminución de sus pobla-

ciones. Sin embargo, el laboreo con arados de vertedera y discos, puede generar problemas en el suelo, porque modifica principalmente las propiedades físicas del mismo, afectando con ello la estructura del suelo al provocar una degradación por aumento de la compactación, entre otros problemas, lo cual se traduce en una menor calidad de producción de los cultivos. Los problemas de compactación se manifiestan como un endurecimiento del suelo denominado "pie de arado", que se produce normalmente entre los 25 y 40 cm de profundidad, el cual reduce la infiltración del agua, además de afectar el crecimiento de las raíces de los cultivos.

En este capítulo, se analizará la importancia de las propiedades físicas del suelo más relevantes, y su relación con las prácticas de manejo del mismo, en los cultivos de hortalizas en el Valle de Azapa, de la Región de Arica y Parinacota. Incluye un análisis de los equipos de labranza que se utilizan comúnmente, y los efectos sobre sus propiedades físicas.

## 2.1. USO DEL SUELO EN EL VALLE DE AZAPA

En el Valle de Azapa, se desarrolla una agricultura de riego intensiva, orientada hacia la producción frutícola, fundamentalmente olivo (*Olea europaea* L.), en menor grado mango (*Mangifera indica* L.) y palto (*Persea americana* Mill), y hortícola, tomate (*Lycopersicon esculentum*), morrón (*Capsicum annuum* L.), maíz híbrido (*Zea mays* L.), poroto (*Phaseolus vulgaris* L.). Este sector ha tenido un importante aumento en la superficie explotada y en el rendimiento (Torres y Acevedo, 2008). El Valle de Azapa cuenta con una superficie reducida de suelos con elevada aptitud agrícola. De las 4.789,9 ha correspondientes al 100% del suelo de uso agrícola localizado en este valle, que a su vez, componen el 0,99% de la superficie de la comuna de Arica, tan solo existen alrededor de 2.087,9 ha con elevada aptitud agrícola, es decir, 43,6% del valle (Babarovich, 2001).

Según el concepto de clasificación del suelo en clases de capacidad de uso, en el agroecosistema de Azapa, no existe superficie de suelos

sin limitaciones para el desarrollo de la actividad agrícola. Sin embargo, existen alrededor de 2.898,4 ha equivalentes al 61,87% de la superficie total, que corresponden a suelos arables (DOH, 202). Estos por sus características, presentan ligeras o moderadas limitaciones para el desarrollo de actividades agrícolas, con clases de capacidad de uso II, y III de riego, donde se producen los cultivos de tomate y pimiento.

En el caso de la comuna de Arica, cuenta con una superficie de 4.799,4 km<sup>2</sup>, que representa el 28,4% de la superficie regional (Bavarovich, 2011). Los suelos del Valle de Azapa integran 47,9 km<sup>2</sup> de dicha superficie y de estos, la clase II de capacidad de uso constituye el 0,3 % de la superficie regional, correspondiente a 1.290,10 ha.

Los suelos del Valle tienen una estratificación marcada producto de los procesos depositacionales (IREN-CORFO, 1976). En la parte baja del Valle, existen estratos gruesos con poca fluctuación de textura que representan el 24,0% de la superficie agrícola. En la parte media a baja del valle se presentan suelos aluviales profundos que ocupan un 27,7% de su superficie. El sector medio superior del mismo (desde el kilómetro 20 al 32) tiene un subsuelo estratificado con suelos generalmente profundos, de texturas medias, colores pardos a pardos oscuros, estructura de bloques subangulares, friables, ligeramente plásticos, ligeramente adhesivos, buena permeabilidad, desde bien a excesivamente drenados, ocupando el 14% de la superficie (Torres y Acevedo, 2008).

El 19,1% de la superficie del Valle de Azapa son suelos que ocupan la caja del Río San José, muy delgados, de color pardo, textura gruesa, con abundancia de piedras, sin estructura y permeabilidad muy rápida (IREN-CORFO, 1976).

Estos suelos son importantes para asegurar el desarrollo de una agricultura local sustentable mediante el abastecimiento permanente de alimentos de los habitantes de la Región de Arica y Parinacota, que incluye la producción de hortalizas, como tomate y pimiento, para abastecer el mercado de la zona central gracias a la producción invernal de contra estación característica de los valles del norte de Chile (Bavarovich, 2011).

## 2.2. LABRANZA Y MAQUINARIA AGRÍCOLA

La labranza del suelo, para la producción de cultivos, es una actividad que se viene realizando desde hace miles de años, que ha pasado por una transformación completa, debido a que en la época que apareció el hombre y empezó a practicar la agricultura, se labraba con las manos, palos afilados y herramientas rudimentarias, pasando por el arado de madera, arado de fierro, hasta las herramientas mecanizadas que se utilizan hoy en día.

La labranza del suelo en la producción de cultivos es una labor fundamental que involucra su remoción con arados, y rastras accionados por tracción animal o mecanizada. Ortiz-Cañavate y Hernanz (1989), establecieron como labranza del suelo "al conjunto de operaciones realizadas con equipos mecánicos, encaminadas a conseguir un mejor desarrollo de las plantas cultivadas".

Según Tapela y Colvin (2002), las prácticas de labranza tienen múltiples propósitos, incluyendo la preparación de la cama de siembra para la germinación de semillas y crecimiento de las plantas. También cumple los objetivos de controlar las malezas, manejar los residuos superficiales de los rastrojos, contribuir al control de plagas y enfermedades en las plantas, mejorar la condición física del suelo, rompiendo los horizontes endurecidos y ayudar a incorporar los fertilizantes y enmiendas orgánica. (Souza y otros, 2006; Novaes Filho y otros, 2007).

Diversos autores agrupan las prácticas de labranza en tres tipos: convencional, de conservación, y las destinadas a reducir las limitaciones específicas (labranza reducida o mínima labranza). La labranza convencional se caracteriza por la remoción de toda la superficie del suelo, utilizando para ello el arado de vertedera o el de discos como herramienta primaria, y la rastra de discos como herramienta secundaria. Sin embargo, el uso de estos equipos ha sido cuestionado por su incidencia en procesos que favorecen la degradación del suelo en terrenos agrícolas, originando, problemas de compactación, entre otros.

Buschiazzo y otros (1998), reportaron que los sistemas de labranza tienen mayor influencia sobre las propiedades físicas del suelo en un clima húmedo y en suelos de textura arcillosa, en comparación con climas áridos y suelos de textura arenosa, como los existentes en el Valle de Azapa.

A diferencia de los suelos arcillosos, los suelos de textura arenosa se caracterizan por poseer partículas de tamaño mayor (superior a 50 micras), las cuales al estar unidas dejan entre ellas espacios porosos más grandes. Sin embargo, este tipo de suelos no se ve afectado por la compactación, de la misma forma que los suelos arcillosos, porque en él persisten espacios porosos de mayor tamaño, lo cual permite una mayor circulación del aire y del agua en el suelo.

La compresión de las partículas de suelo, causada por el efecto de la maquinaria agrícola, como labores de aradura con arados de discos o de vertedera, y rastras de disco, genera un reagrupamiento de ellas, donde los espacios porosos llegarán a ser menores, originándose una condición de compactación. En esto también interviene el efecto del tráfico de los equipos y máquinas de laboreo, los cuales provocan problemas de compactación por el peso y movimiento o tránsito de las ruedas sobre la superficie del terreno.

En un contexto agronómico, un suelo se considera compactado cuando la porosidad total es baja y sin aireación, con una densidad aparente alta y poros pequeños, que impiden la penetración de las raíces de los cultivos y agua de riego. Al limitar la penetración de las raíces, afecta seriamente la habilidad de las plantas para absorber agua del subsuelo (Carrasco y otros, 2010).

Lo anterior es importante, si consideramos que cuando se aplica un pesticida al suelo para controlar hongos y nemátodos, es necesario que el mismo posea una buena porosidad, para facilitar la gasificación y circulación del producto aplicado (Carrasco y otros, 2006).

## 2.3. LA DEGRADACIÓN DEL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL LABOREO

La degradación del suelo es un proceso complejo que provoca la pérdida de la capacidad productiva del mismo, a causa del deterioro de su medio físico, químico y biológico (Lal y Stewart, 1995). La degradación del medio físico se refiere al deterioro de las propiedades físicas a causa de la erosión, la compactación y el endurecimiento del suelo.

Algunos autores sostienen que las labores de preparación de suelos a través de la aradura con arados de vertedera y discos, y de rastraje a través de la rastra de disco, ha tenido un gran impacto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, provocando su degradación (Hill 1990; Buschiazzo y otros, 1998; Husnjak y otros, 2002; Tapela y Colvin 2002; Liebig y otros. 2004). Del punto de vista de las propiedades físicas, puede originar una compactación del mismo, debido al "tránsito" de tractores y debido al pie de arado que pueden provocar los implementos de labranza.

En preparaciones de suelos excesivas, donde el suelo queda completamente mullido, se reducen los macroporos durante la reagrupación de las partículas. Con frecuencia se forman sellos de capas endurecidas a escasa profundidad, que constituyen barreras físicas para el intercambio gaseoso y la penetración del agua en el suelo, crecimiento de las raíces o la emergencia de las plántulas (Carrasco y otros, 2010).

El típico efecto del laboreo es aumentar en forma inmediata la cantidad de los macroporos y fisuras, lo cual favorece el aumento en la capacidad de movimiento del aire en el suelo. Sin embargo, en el mediano plazo, el empleo de equipos de laboreo para aradura y rastraje puede producir una disminución intensa de la macroporosidad, con el consecuente problema de compactación del suelo (Carrasco, 2008).

## 2.4. COMPACTACIÓN Y FORMACIÓN DE CAPAS ENDURECIDAS

Abu-Hamdeh (2003) definió la compactación del suelo como el efecto de embalaje de fuerzas aplicadas. Este efecto de embalaje disminuye

la porosidad e incrementa la densidad aparente del suelo. Hill (1990) señala que en un contexto agronómico, un suelo se considera compactado cuando la porosidad total es baja y sin aireación, con una densidad aparente alta y poros pequeños que impiden la penetración de las raíces de los cultivos y el drenaje del terreno.

Algunos autores señalan que el paso sistemático del tractor y los equipos de laboreo producen la formación de un "pie de arado" a una cierta profundidad en el perfil del suelo, lo que impide el desarrollo de las raíces en profundidad. Una de las principales causas de la compactación de los suelos, durante el período de crecimiento del cultivo, es la rueda de los tractores agrícolas, que ejerce altas presiones sobre el suelo (concentradas superficialmente) y que se transmiten a través del perfil, causando la compactación en el subsuelo (Carrasco, 2008).

En la producción de un cultivo, los principales problemas de compactación se originan por el uso de tractores y los equipos para el laboreo del suelo, por lo tanto, la mayoría de los estudios existentes se relacionan con el uso de distintos sistemas de manejo mecanizado (laboreo superficial con rastras de discos y laboreo profundo con arados de discos o vertedera). Para ello, se evalúan sus efectos sobre las propiedades físicas del suelo, a través de diferentes parámetros de medición, como los "índices de compactación", que incluyen la *densidad aparente*; el *espacio poroso total*: tamaño, forma y continuidad de los poros (*micro y macroporosidad*), y la *conductividad hidráulica*, entre otros (Lima y otros, 2006).

#### **2.4.1. La densidad aparente y porosidad del suelo como medida de compactación**

Es la relación que existe entre el peso seco (105°C) de una muestra de suelo y el volumen que esa muestra ocupaba en el mismo (Carrasco, 2008). La densidad aparente es uno de los parámetros más indicativos de la compactación del suelo. La densidad aparente es una de las mediciones más importantes y de las más usadas para definir las propiedades físicas del suelo. Por ello, a menudo son consideradas como indicadores de la compactación del suelo (Utset y Cid 2001; Abu-Hamdeh 2003).

Algunos autores, proponen como densidades aparentes óptimas para el crecimiento de las raíces de una amplia gama de cultivos, valores de 1,50; y 1,60 g/cm<sup>3</sup>, para suelos franco-arenoso y arenoso-franco, respectivamente.

La porosidad del suelo se define como "el volumen de aire y agua contenido en una unidad de volumen de suelo. Es una medida del tamaño y el número de huecos de aire, cuyos cambios indican daños estructurales. Es una característica que está íntimamente ligada con la densidad aparente, con la capacidad de aireación y con la capacidad de retención de humedad del suelo. La porosidad depende, entre otros, de la textura, de la estructura, contenido de materia orgánica, del laboreo y otras características del mismo (Carrasco, 2008).

Se relaciona la *porosidad total* y el tamaño de los poros con un estado físico dado, haciendo referencia al concepto de macro y microporosidad para poder comparar las condiciones de diferentes tipos de suelos (Carrasco, 2008), siendo los macroporos aquellos poros continuos que permiten que el agua circule y que las raíces penetren e integren la *macroporosidad* del mismo que, en su mayor parte, permanece ocupada por aire. Poseen un tamaño mayor a las 30 micras (µm), y favorecen el transporte del agua y los solutos, además del aire, y de actuar como canales de drenaje a través del suelo.

El laboreo con arados de vertedera o discos puede incrementar el volumen de los macroporos y la continuidad de dichos poros puede ser destruida por estos equipos en el tiempo. Sin embargo, según el grado de mullimiento generado por la aradura de inversión y rastrajes, con el tiempo las partículas de arena, limo, y arcilla se "reacomodan" por la compactación natural originada del efecto del peso de ellas y de la humedad que pueda ir alcanzando el suelo (Carrasco, 2008). Esto se agrava si sobre la superficie del terreno transitan tractores y equipos, porque en ese caso el "reacomodo" de partículas sería extremo, generándose una condición de compactación por tráfico.

Los suelos del Valle de Azapa, en su mayoría, poseen característica típica de un suelo de textura franco arcillo arenosa a franco arenosa, lo cual les otorga una buena infiltración del agua, alta porosidad y una



baja densidad aparente, por lo que es poco probable detectar problemas de compactación, siendo desde este punto de vista suelos muy adecuados para el establecimiento y producción de hortalizas (Carrasco, 2006). Sin embargo, el uso intensivo que se le ha dado al suelo para la producción de hortalizas, debido a que en cada año agrícola se producen dos cultivos, pudiesen estar provocando problemas en las propiedades físicas del mismo.

Lo anterior, hace necesario realizar una prospección en predios cultivados con tomate y pimiento, con el objeto de establecer el efecto del manejo de suelo, en particular de las labores de aradura y rastraje, sobre algunos parámetros de las propiedades físicas de suelo, que incluyen densidad aparente, macro porosidad, y conductividad hidráulica saturada, que se presentan a continuación.

#### 2.4.2. Caracterización física de suelos a través de calicatas

La observación y el reconocimiento de un terreno previo a la plantación de hortalizas es una práctica recomendable para asegurar un adecuado establecimiento y desarrollo de las plantas. El propósito básico es observar si existen las condiciones adecuadas del suelo para el desarrollo de las raíces de las plantas, como algún grado de compactación, que además esté afectando la infiltración del agua en el perfil del mismo (Carrasco y otros, 2010).

La manera recomendada de conocer la aptitud de un suelo es por medio de la observación de calicatas (**Foto 1**), excavación empleada para facilitar el reconocimiento directo del sector que se desea estudiar y, por lo tanto, es el método de exploración que normalmente entrega la información más confiable y completa. Lo relevante del tamaño de la excavación es poder disponer de un espacio suficiente para trabajar en su interior, facilitando la correcta evaluación del suelo (Carrasco y otros, 2010).

En la producción de hortalizas, se recomienda excavaciones de 10 metros de profundidad por un metro de ancho y un metro de largo. Esta excavación, efectuada con la amplitud indicada, permitirá la observación del suelo, a través de una inspección visual de sus paredes y toma



**Foto 1.** La observación del perfil de suelo en una calicata permite definir la presencia de algún impedimento físico que pudiera limitar el crecimiento de las plantas, con el propósito de posteriormente definir labores para corregirlo. Valle de Azapa, km 7, Arica.

de muestras en las distintas estratas. El número de calicatas a abrir en una superficie de terreno depende de la variabilidad del suelo, siendo lo habitual abrir dos a tres calicatas cada cinco hectáreas de terreno a plantar, las cuales deberían distanciarse entre sí a unos 50 a 70 metros.

En una calicata, es posible encontrar capas compactadas o pie de arado, que dificultan la infiltración del agua en el perfil de suelo. El horizonte compactado, conocido como "pie de arado", es consecuencia del tránsito de maquinaria (tractores y equipos) y del laboreo de suelos con arados de vertedera o disco. Este horizonte endurecido alcanza su grado de compactación más alto al nivel de la profundidad de trabajo de los arados y rastras (Carrasco y otros, 2010).

Una forma práctica para comprobar la existencia de compactación de suelos en una calicata es la utilización de un cuchillo con punta, sosteniéndolo con la mano y ejerciendo presión con su punta en las paredes, evaluando la resistencia que opone el suelo a la penetración del cuchillo (Carrasco y otros, 2010). Si existiese pie de arado, comúnmente ubicado en una profundidad entre los 25 y 40 cm, aproximada-

mente, con bastante seguridad se detectará al percibir una mayor resistencia del suelo al ser penetrado por la punta del cuchillo (Carrasco y otros, 2010).

Luego de tomar muestras en la calicata, en un laboratorio, se puede evaluar su compactación, a través de diferentes parámetros de medición. Los más comunes son: la macroporosidad, la densidad aparente, la porosidad total, y la conductividad hidráulica o flujo del agua en el perfil, entre otros.

## 2.5. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE SUELOS DEL VALLE DE AZAPA

Con el objeto de hacer una caracterización general de los suelos de las Unidades Demostrativas del proyecto "Alternativas al bromuro de metilo, para la producción de hortalizas en el Valle de Azapa", que INIA ejecutó con financiamiento del FIC-R, se seleccionó tres predios de productores localizados a lo largo del Valle, en los kilómetros 7; 24; y 45, del mismo. Para ello, con cilindros metálicos de 5 cm de altura por 5 cm de ancho, se tomaron muestras de suelo en calicatas de 1 m de profundidad, 1 m de ancho y 1 m de largo, en las estratas de suelo 0 a 15 cm; 15 a 30 cm; 30 a 45 cm; y 45 a 60 cm. Posteriormente, estas muestras se llevaron al Laboratorio de Física de Suelos de INIA Rayentué, donde se hizo un análisis de cuatro parámetros físicos que definen el estado estructural del suelo, en muestras sin disturbar. Los parámetros físicos evaluados en cada predio, incluyeron macroporosidad (%), la densidad aparente ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), y conductividad hidráulica saturada ( $\text{cm}/\text{hr}$ ).

## 2.6. RESULTADOS

En el **Cuadro 1**, se muestra el porcentaje de macroporos del suelo, medidos en las profundidades de 0 a 30 cm y desde 31 a 60 cm, en tres predios distintos ubicados en los kilómetros 7, 25 y 45 a lo largo del Valle de Azapa. En cada predio y para cada profundidad, se observa

que la macroporosidad es superior a un 7%, que corresponde a un nivel de macroporosidad media, pero adecuada para la producción de hortalizas, en terrenos de textura franco arcillo arenosa a franco arenosa.

En el **Cuadro 2**, se muestra la densidad aparente del suelo, medida en las profundidades 0 a 30 cm y 31 a 60 cm en tres predios distintos ubicados en los kilómetros 7, 25, y 45 a lo largo del Valle de Azapa. En cada profundidad y para cada predio, la densidad aparente fue entre 1,3 y 1,4 gr/cm<sup>3</sup>, densidad normal para la textura de estos suelos, que indica ausencia de compactación, si lo asociamos a los valores de macroporosidad indicada en el Cuadro 1. La densidad 1,4 gr/cm<sup>3</sup> en ambas estratas, en el predio ubicado en el kilómetro 25, es normal para un suelo de textura franco arenosa.

En el **Cuadro 3**, se observa la conductividad hidráulica, expresada en cm/hr, de dos estratas de suelo, evaluada en tres sectores hortícolas del Valle de Azapa, de los kilómetros 7, 25 y 45. En el kilómetro 7, en las estratas de suelo 0 a 30 cm y 31 a 60 cm, esta llega a los 9,3 y 11,3 cm/hr, respectivamente, que en ambos casos corresponde a una conductividad hidráulica moderadamente rápida. Igual condición es válida para el predio ubi-

**Cuadro 1.** Porcentaje de macroporos medidos en tres sectores hortícolas del Valle de Azapa, ubicados en los kilómetros 7, 25, y 45.

Profundidad (cm)	Macroporos		
	km 7	km 25	km 45
0-30 cm	7,1	10,8	9,5
31- 60 cm	9,7	9,7	10,6

**Cuadro 2.** Densidad aparente medida en tres sectores hortícolas del Valle de Azapa, ubicados en los kilómetros 7, 25, y 45.

Profundidad (cm)	D. aparente (gr/cm <sup>3</sup> )		
	km 7	km 25	km 45
0-30 cm	1,3	1,4	1,3
31- 60 cm	1,3	1,4	1,3

**Cuadro 3.** Conductividad hidráulica saturada (cm./hr) medida en tres sectores hortícolas del Valle de Azapa, ubicados en los kilómetros 7, 25, y 45.

Profundidad (cm)	K (cm/hr)		
	km 7	km 25	km 45
0-30 cm	9,3	16,4	6,15
31- 60 cm	11,3	27,3	7,1

cado en el km 45, para el caso de ambas estratas. Por otro lado, en el caso del predio ubicado en el kilómetro 25, perteneciente al Sr. Bruno Aravena, la conductividad hidráulica se encuentra en los 16,4 cm/hr, para la estrata 0 a 30 cm y 27,3 cm/hr. para la estrata 31 a 60 cm, lo cual en ambos casos representa una conductividad hidráulica saturada rápida, lo que significa un flujo de agua rápido en el perfil del suelo.

## 2.7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, los tres suelos hortícolas evaluados en el Valle de Azapa presentan adecuadas características físicas, encontrándose evidencias de buena infiltración del agua, alta porosidad y una baja densidad aparente para condición de suelos de textura franco arenosa. Por lo que, no se detectaron problemas de compactación subsuperficial, siendo desde este punto de vista suelos muy adecuados para el establecimiento y producción de hortalizas.

Sin embargo, la rápida conductividad hidráulica establecida en estos suelos, en particular la del predio del Sr. Bruno Aravena (km 25), que corresponde a un sector de lecho de río, está asociada a la textura franco arenosa que estos presentan, lo cual obliga al productor a tener un adecuado manejo del tiempo y frecuencia de riego en sus cultivos. En los tres predios evaluados, por la conductividad hidráulica moderadamente rápida a rápida, se debe controlar el agua aplicada y lo recomendable es regar con un menor tiempo de riego, pero con una mayor frecuencia, teniendo la precaución de comprobar que el agua penetre hasta los 40 cm aproximadamente. Es decir, donde los cultivos hortícola presentan el mayor volumen de raíces.

La alta porosidad de los suelos, encontrada en los predios evaluados, es un factor positivo para la adecuada difusión de los gases de pesticidas, aplicados para el control de hongos y nemátodos del suelo. Esto indicaría que desde el punto de vista de la gasificación de los productos empleados, por la alta temperatura de los suelos en las épocas de aplicación, sumado a la alta porosidad del suelo, que permite una adecuada difusión en el mismo, facilitan una alta eficiencia en el efecto de los pesticidas aplicados, en el control de patógenos del suelo.

## 2.8. BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Hamdeh, N. H. 2003. Soil compaction and root distribution for okra as affected by tillage and vehicle parameters. *Soil and Tillage Research*, 74:25-35.
- Babarovich, M. 2001. Valorización del uso agrícola de los suelos del Valle de Azapa mediante la estimación de la productividad del olivo (*Olea europaea* L.). Tesis Ing Agr. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Tarapacá, Arica, Chile. 138 p. Disponible: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/collect/bdirenci/index/assoc/HASH57d3.dir/Tesis-Minsy.pdf>
- Buschiazzo, D.E.; J. L. Panigatti, P. W. Unger. 1998. Tillage effect on soil properties and crop production in subhumid and semiarid Argentinean Pampas. *Soil and Tillage Research*, 49: 105-116.
- Carrasco J., 2008. Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. pp. 11-47 En: Hirzel, J. Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en frutales y Vides. Colección Libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán. Chile. 296 p.
- Carrasco, J.; J. Riquelme y E. Varas. 2006. Metam sodio para almácigo y plantación. Pp. 55-68. En: Alternativas de desinfección de suelo en las producciones de tomate en invernaderos de Colín. Boletín INIA N° 155. Villa Alegre, Chile.
- Carrasco, J.; A. Antúnez y G. Lemus. 2010. Caracterización de un suelo para el establecimiento de un huerto frutal. p. 71-79. En: J. Carrasco y J. Riquelme (eds.). Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. Boletín INIA N° 207. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Rayentué, Rengo, Chile.

- Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Obras Hidráulicas. 2002. Estudios Agronómicos Básicos de los Valles de Lluta, Azapa, Vitor y Camarones. [on line:] <http://www.ciren.cl/cgi-bin/cedoc/axis?IsisScript=plus.xis&mf=013562&base=biblo>
- Hill, R. L. 1990. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of American Journal*, 54: 161-166.
- Husnjak, S.; D. Filipovic and S. Kosutic. 2002. Influence of different tillage systems on soil physical properties and crop yield. *Rostlinna Vyroba*, 48(6): 249-254.
- IREN-CORFO. 1976. Inventario de Recursos Naturales por métodos de percepción del satélite LANDSAT. I Región de Tarapacá. Convenio IREN-SERPLAC. Santiago, Chile. p. 50-110.
- Lal, R. and B. A. Stewart. 1995. Need for long-term experiments in sustainable use of soil resources. p. 537-545. In: *Soil Management: Experimental Basis for Sustainability and Environmental Quality. In: Advances in Soil Sciences Series CRC Press, Boca Raton, Florida.*
- Lamande, M., V. Hallaire, P. Curmi, G. Peres and D. Cluzeau. 2003. Changes of pore morphology, infiltration and earthworm community in a loamy soil under different agricultural managements. *Catena*, 54: 637-649.
- Liebig, M.A.; D.L. Tanak and B.J. Weinhold. 2004. Tillage and cropping effects on soil quality indicators in the northern great plains. *Soil and Tillage Research*, 78: 131-141.
- Lima, C. L. R.; A.P. Silva, S.C. Imhoff y T.P. Leão. 2006. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:217-223.

- Novaes Filho, J. P.; E.G. Couto, V.A. Oliveira, M.S. Johnson, J. Lehmann, S.S.Riha. 2007. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:91-100.
- Ortiz-Cañavate J. y J. I. Hernanz. 1989.- Técnica de la mecanización agraria. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 643 p.
- Souza, Z.M.; J. Marques Júnior, G.T. Pereira y M.J.C. Bento. 2004. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8: 51-58.
- Souza, Z. M.; M .C. C. Campos, I .H. L. Cavalcante, J. Marques Júnior, L.G. Cesarin y S. R. Souza. 2006. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 36: 128-134.
- Tapela, M. and T. S. Colvin. 2002. Quantifying seedbed condition using soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 64: 203-210.
- Torres, H. y E. Acevedo. 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. *IDESIA (Chile)*, 26(3):31-34.
- Utset, A. and Cid G. 2001. Soil penetrometer resistancespatial variability in a Ferralsol at several soil moisture conditions. *Soil and Tillage Research*, 61: 193-202.