



Universidad Austral de Chile

---

*Conocimiento y Naturaleza*

Juan Schlatter y Víctor Gerding

# Nutrición Forestal

Fundamentos para la Silvicultura

Ediciones  UACH

Colección Austral Universitaria de Ciencias Silvoagropecuarias

Esta primera edición en 500 ejemplares de

**NUTRICIÓN FORESTAL**  
**Fundamentos para la Silvicultura**  
de Juan Schlatter y Víctor Gerding  
Colaboración de Guillermo Trincado

se terminó de imprimir en marzo de 2024  
en los talleres de Andros Impresores

☎ (2) 25 556 282  
[www.androsimpresores.cl](http://www.androsimpresores.cl)  
para Ediciones Universidad Austral de Chile

☎ (56-63) 2444338  
[www.edicionesuach.cl](http://www.edicionesuach.cl)  
Valdivia, Chile

*Dirección editorial*  
Yanko González Cangas

*Cuidado de la edición*  
César Altermatt Venegas

*Diseño y maquetación*  
Silvia Valdés Fuentes

Todos los derechos reservados.  
Se autoriza su reproducción parcial para fines periodísticos  
debiendo mencionarse la fuente editorial.

© Universidad Austral de Chile, 2024  
© de los autores, 2024

ISBN: 978-956-390-244-0  
634.9 Silvicultura / RNK Conservación del medioambiente

---

Esta publicación contó con referato externo por sistema de pares doble ciego aprobado por el Consejo Editorial de Ediciones Universidad Austral de Chile.

---

*La preservación del suelo es un deber sagrado. Ama a la tierra como a ti mismo, debió también decirse. Mas los hombres no acertamos a amarnos a nosotros mismos. La tierra que nos rodea es el espejo del alma humana. Mas el hombre quiere romper su espejo. Tala y quema los bosques, suelta cabras de diente ponzoñoso en las quebradas y convierte al humus engendrador de sueños en ceniza muda, en fibras deshilachadas bajo el sol, escarmenador implacable.*

Luis Oyarzún,  
*Defensa de la Tierra* (1973)

# Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>2. SUELO Y SU FERTILIDAD</b>	<b>17</b>
2.1 El suelo y su variabilidad	17
2.2 Fertilidad del suelo	22
2.3 Reconocimiento de suelos	46
<b>3. SITIO Y CALIDAD DE SITIO - REQUERIMIENTOS DE ESPECIES FORESTALES</b>	<b>53</b>
3.1 Conceptos de sitio y calidad de sitio	53
3.2 Evaluación de la calidad de sitio	61
3.3 Requerimientos de las especies forestales	82
3.4 Clasificación de sitios	86
<b>4. DINÁMICA DEL CRECIMIENTO</b>	<b>89</b>
4.1 Crecimiento de árboles y bosques	89
4.2 Producción de la biomasa	94
<b>5. RELACIÓN ENTRE PRODUCCIÓN Y PÉRDIDA DE BIOMASA EN BOSQUES</b>	<b>117</b>
5.1 Balance de formación y pérdida de biomasa en bosques	117
5.2 Acumulación y transformación de la hojarasca	122
5.3 Procesos de transformación del mantillo	128
5.4 Organismos del suelo o edafón	130
5.5 Clasificación de las formas de humus	134

## **6. NUTRICIÓN FORESTAL 145**

- 6.1 Origen de los elementos nutritivos y mecanismos de absorción de los vegetales 145
- 6.2 Contenido y distribución de los elementos nutritivos en los árboles 154
- 6.3 Dinámica de la demanda nutritiva en ecosistemas forestales 165

## **7. DINÁMICA BIOGEOQUÍMICA EN ECOSISTEMAS FORESTALES 181**

- 7.1 Fundamentos de la dinámica de los ciclos biogeoquímicos 181
  - 7.2 Ciclo del agua 186
- 7.3 Ciclos del carbono y del oxígeno 202
  - 7.4 Ciclo del nitrógeno 207
  - 7.5 Ciclo del fósforo 213
  - 7.6 Ciclo del azufre 218
- 7.7 Ciclo de cationes alcalinos y alcalino-térreos 221
- 7.8 Elementos menores 228

## **8. MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO 231**

- 8.1 Diagnóstico del estado actual del suelo 231
- 8.2 Diagnóstico del estado nutritivo de los árboles 238
- 8.3 Leyes de la nutrición vegetal 253

## **9. LA SILVICULTURA Y SU EFECTO EN EL BALANCE NUTRITIVO DEL SITIO 259**

- 9.1 Forestación y sus desafíos 259
- 9.2 Establecimiento de plantaciones 286
- 9.3 Crecimiento posestablecimiento 292
- 9.4 Intervenciones intermedias y su efecto en la dinámica de la biomasa y los elementos nutritivos 293

9.5 Efecto de la cosecha y poscosecha en el balance nutritivo  
del sitio 300

9.6 Balances nutritivos en cuencas hidrográficas 314

#### **10. FERTILIZACIÓN FORESTAL 321**

10.1 Recopilación histórica y consideraciones preliminares 321

10.2 Recuperación nutritiva de los suelos 327

10.3 Fertilizantes y oportunidad de una fertilización 332

10.4 Métodos de aplicación 351

#### **11. PROYECCIÓN A FUTURO 357**

11.1 Antecedentes para comprender las necesidades futuras 357

11.2 Acciones para el futuro 365

#### **12. BIBLIOGRAFÍA 371**

#### **13. ANEXOS 391**

Anexo 1. Clasificación de sitios a base de factores ambientales  
seleccionados 393

Anexo 2. Conceptos silviculturales para las etapas  
del bosque 403

Anexo 3. Ejemplo de cálculo de dosis de fertilización  
para el establecimiento de una plantación 405

# 1. Introducción

El presente libro es resultado del desarrollo docente sobre nutrición forestal en Ingeniería Forestal de la Universidad Austral de Chile. Estudiantes y profesionales requieren de un texto de referencia, para su consulta y dominio, sobre conceptos fundamentales que se aplican en la silvicultura y el manejo. La nutrición forestal aplica conocimientos de suelos, considerando a este como lugar de desarrollo de los vegetales; utiliza aportes de la fisiología vegetal, pero incorpora al suelo como principal fuente de nutrientes; ocupa los fundamentos de la ecología forestal, útiles para acceder al dominio de complejas interrelaciones existentes en un ecosistema, pero enfocados hacia la producción forestal; también recurre a la dasometría, para cuantificar e interpretar resultados de la medición cuantitativa y cualitativa de los bosques, y los relaciona con su entorno; y aporta a la silvicultura, entregándole a esta los conocimientos necesarios para perfeccionar sus métodos.

La nutrición forestal es la consecuencia del desarrollo de la nutrición vegetal, que propone sus fundamentos en el siglo XIX (Finck 1969). Ya en el siglo XX se inician las primeras medidas de mejoramiento nutritivo en bosques, cambiando los paradigmas de la silvicultura. A la silvicultura clásica, que usa métodos de manejo forestal a base de la calidad actual del sitio, se agregó la silvicultura técnica que desarrolla métodos de manejo dirigidos a lograr la potencialidad del sitio.

En Chile Central y Sur, en la segunda mitad del siglo XIX y primera del siglo XX, la deforestación para el cultivo extensivo de trigo de secano provocó la erosión del suelo en el principal territorio productivo del país (Elizalde 1970). Ello obligó a iniciar un cambio de estrategia y de práctica agronómica, dando origen a grupos de estudio de los recursos suelo y agua y su regulación por el Estado (Dirección de Suelos y Agua, Ministerio de Agricultura). En el sector forestal, la aplicación del concepto de fertilidad de suelos y los principios de la nutrición vegetal se inicia dos décadas más tarde con aportes de especialistas extranjeros y con profesionales chilenos que se especializan fuera del país. Sin embargo, la incorporación masiva del manejo del suelo, incluyendo fertilizantes al cultivo forestal, ocurre después de los años ochenta, con el aumento vertiginoso de la forestación de suelos erosionados, antes utilizados en agricultura y ganadería, y gracias a los primeros diagnósticos que identifican limitaciones de suelos y nutricionales (Tollenaar 1969, Schlatter y Grez 1978).

El desarrollo del sector forestal chileno en el Centro y Centro-Sur del país se fundamentó, en los últimos cincuenta años, principalmente en el establecimiento, cultivo y cosecha de plantaciones forestales monoespecíficas de especies exóticas (*Pinus radiata*, *Eucalyptus globulus*, *E. nitens*) para sustentar la industria de la celulosa, de tableros de partículas y, en menor medida, para madera aserrada. Otras especies introducidas ocupan un rol secundario (*Populus* spp., *Pseudotsuga menziesii*, *Acacia melanoxylon*, *Pinus ponderosa*). Por otra parte, el bosque nativo de Chile fue fuente de abastecimiento de maderas nobles para la construcción y mueblería y como combustible de hogar e industrial. Constituyó uno de los recursos fundamentales para la construcción de la infraestructura del país. Lamentablemente, fue explotado sin considerar su proyección como recurso natural renovable, no incorporó a profesionales en su manejo, con excepción de escasos ejemplos, a diferencia de los cultivos o plantaciones forestales, las que incorporaron profesionales de la nascente profesión de ingeniería forestal (década de 1960). Las intervenciones aplicadas en los bosques nativos fueron con criterios prácticos, de acierto y error, predominando decisiones financieras sobre cualquier otro criterio en la empresa maderera, cuyas instalaciones industriales

fueron el centro de su preocupación. Esto contribuyó a la degradación del bosque en distinto grado. Actualmente, el manejo de los bosques nativos constituye un desafío de primera importancia para la ingeniería forestal, principalmente en el Sur-Austral de Chile, donde ocupa la mayor extensión del territorio nacional.

El presente texto se inicia con conceptos fundamentales y casos relevantes relacionados con el recurso suelo y su fertilidad, fundamental para la producción forestal. Posteriormente, con el concepto de sitio y sus aplicaciones, base para decidir el tipo de bosque o cultivo forestal que puede o deba ser favorecido en un lugar determinado del territorio, con el fin de optimizar su uso. Luego, el análisis de la dinámica del crecimiento forestal entrega una visión simplificada de la relación causa y efecto entre el sitio y la producción. A esto se agrega la íntima dependencia entre producción y pérdida de biomasa en el sitio, fundamental para la comprensión de la nutrición forestal propiamente tal. A continuación, se sintetiza la dinámica de ciclos biogeoquímicos en ecosistemas forestales. Los capítulos siguientes desarrollan la parte más aplicada para el manejo de los recursos naturales con criterios de sostenibilidad, enfatizando en el diagnóstico del estado actual del recurso, que es fundamental para planificar y manejar el suelo y el bosque a través de la silvicultura. La silvicultura, incluyendo la fertilización forestal, constituye la estrategia metodológica para manejar el bosque hacia un objetivo de producción determinado. El libro finaliza con lineamientos sobre proyecciones futuras, con vista al trato profesional y documentado de los recursos naturales, con el fin de permitir su sostenibilidad y el aporte efectivo al mejoramiento de la calidad de vida del ser humano.

## 2. Suelo y su fertilidad

### 2.1 El suelo y su variabilidad

#### *2.1.1 El suelo como cuerpo natural*

El suelo es el producto de la acción de los meteoros sobre la superficie de la litósfera, en la zona de contacto con la atmósfera. De aquí que este proceso sea conocido como meteorización. Las rocas ubicadas en la superficie de la corteza terrestre son constituyentes estructurales de la litósfera (figura 2.1), las que se expanden al aflorar a la superficie y, en su contacto con la atmósfera, quedan expuestas a flujos de energía que llegan a la superficie terrestre, originándose aquí una serie de procesos físicos-químicos que tienen como resultado la fragmentación rocosa y la meteorización de sus minerales componentes.

La fragmentación de las rocas da como resultado un complejo de clastos de diferentes tamaños, los que en caso de ser suficientemente finos pueden adsorber y retener agua. La retención de agua en el sustrato de clastos que darán origen al suelo es la característica que permite que en él se den condiciones para la vida. La presencia de organismos vivos, una vez que estos se hayan establecido, da origen a la biósfera. Pero, para que este desarrollo se produzca, es requisito que la superficie de la litósfera sea de una estabilidad tal, que el suelo, una vez originado, permanezca en el mismo lugar y no sea erosionado.

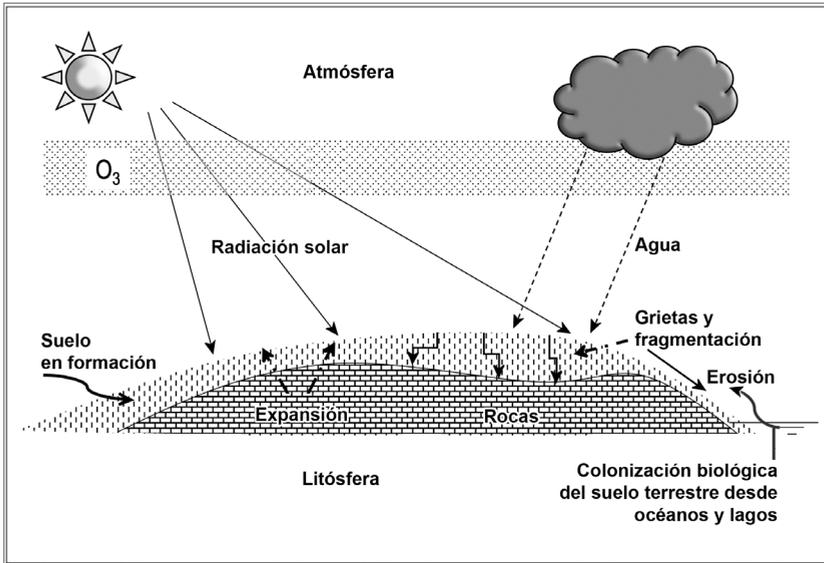


Figura 2.1 Componentes y procesos en la zona límite litósfera-atmósfera que dan origen al suelo.

La geomorfología actual de la Tierra es el resultado de la dinámica de afloramientos y desgastes, erosión, derrumbes, sedimentación y transformación que ha habido en la superficie de nuestro planeta, la que está en continuo cambio. En algunos casos, estos cambios son a corto plazo, pero en general son procesos lentos. Así, muchos terrenos presentan una estabilidad suficientemente prolongada para que en ellos se forme un suelo, el que puede definirse como un cuerpo natural originado por procesos físicos y químicos de transformación de rocas y minerales, compuesto principalmente por fragmentos primarios y minerales secundarios, entremezclado en su parte superficial con sustancias orgánicas originales o transformadas, dando como resultado una estructura porosa, en la cual se aloja aire o se retiene agua.

La estructura morfológica y volumétrica del suelo, con mayor o menor porosidad, entrega condiciones adecuadas para que en su seno se desarrolle vida y, si la profundidad del suelo es suficiente, permitirá el arraigamiento de plantas superiores. El suelo está en constante evolución, como efecto de la energía ambiental y la vida que cobija, dependiendo

su desarrollo, también, del período de estabilidad que presente en un determinado lugar. La mayor o menor estabilidad de un lugar, para soportar la erosión causada por fuerzas propias de la dinámica geomorfológica, es la que definirá el período de evolución que experimente el suelo en un determinado lugar de la Tierra. En general, en este texto se considerarán como suelo aquellos sustratos asociados con la superficie continental y no con la marina ni lacustre, a pesar que en el límite de ambas condiciones también pueden presentarse suelos subhídricos.

Las sustancias minerales y orgánicas que componen un suelo se organizan espacialmente, cuyo resultado depende de procesos que intervinieron en su formación. Esta organización espacial produce un sistema poroso que puede acoger el aire y el agua, ocupando ambos el espacio poroso que se origina y dando como resultado un cuerpo natural con características propias (figura 2.2).

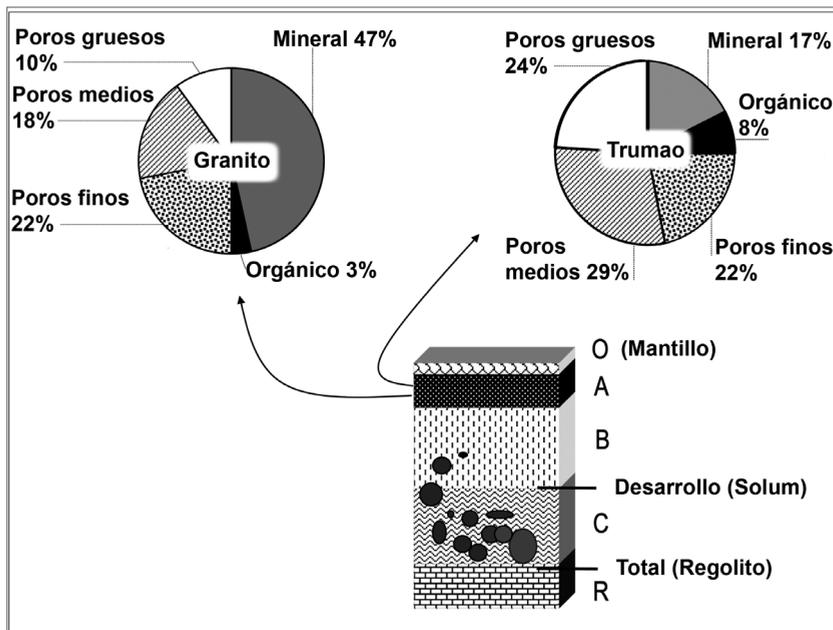


Figura 2.2 Características de un suelo y proporción de sus componentes. Ejemplos de un suelo formado a partir de roca granítica (alfisol) y otro derivado de cenizas volcánicas (trumao, andisol).

Un suelo mineral promedio, generalmente, presenta alrededor de 50 % de componentes sólidos y otro 50 % de espacio poroso. Un suelo de ese tipo es representado en el ejemplo de un suelo derivado de rocas graníticas en Chile Centro-Norte (figura 2.2). Sin embargo, fuera de estos suelos promedio, que son mayoría en el mundo, existen variantes como la de suelos derivados de sedimentos, entre los cuales están los de origen eólico y especialmente aquellos derivados de erupciones volcánicas, que pueden presentar una estructura espacial mucho más porosa, como un suelo trumao (andisol) de Chile Centro-Sur (figura 2.2).

En climas no áridos, los poros finos están llenos de agua retenida fuertemente a la matriz de sólidos. Los poros medios, en cambio, presentan fluctuaciones cuantitativas de su contenido de agua, dependiendo de la época (balance entre precipitaciones y evapotranspiración). Solo los poros gruesos están libres de agua en suelos con buen drenaje, constituyendo estos el espacio que ocupa normalmente el aire.

### *2.1.2 Variabilidad de los componentes del suelo*

El cuerpo natural suelo experimenta diferenciaciones morfológicas en el transcurso de su evolución, cuyos resultados dependen de las particulares características climáticas y geomorfológicas de cada lugar en la Tierra, dando origen a un sinnúmero de tipos diferentes de suelos (Soil Survey Staff 2017). La variabilidad natural de los suelos y de su fertilidad, en el paisaje, está de acuerdo a cómo ocurre la dinámica geomorfológica de una región y su posterior desarrollo ecológico. Existen regiones en el mundo que han tenido gran estabilidad geomorfológica, como, por ejemplo, la pampa argentina y el territorio sureste de Brasil. No es este el caso de la costa oeste del subcontinente sudamericano que está en el frente de la deriva continental y, por lo tanto, experimenta continuos cambios a escala geológica, originados por sismos, levantamiento y hundimiento de la corteza terrestre, volcanismo y generalmente alta erosividad.

En regiones de gran dinamismo geomorfológico, los procesos de sollevamiento, plegamiento de la corteza, fragmentación rocosa, erosión eólica y aluvial y la actividad glacial (en altitud y en los extremos latitudinales polares) están en permanente acción, modelando constantemente la superficie terrestre (Sommerfield 2014). Los suelos que se forman bajo esta dinámica son principalmente suelos jóvenes o de mediana edad, ya que están constantemente renovándose. Esto trae un gran desafío para el ordenamiento territorial, para definir el uso del suelo, exigiendo evaluar periódicamente en qué sectores del paisaje es posible establecer una línea de producción agrícola o forestal, en complemento al asentamiento humano.

En un corte transversal desde la cordillera de Los Andes a la cordillera de la Costa en Chile Central a los 40° S (figura 2.3), como ejemplo de variación de suelos a escala regional, se observa el cambio proporcional de las fracciones minerales finas, con un aumento desde el este (Los Andes) hacia el oeste (Costa), debido a la mayor antigüedad de los suelos en dicha dirección. Los suelos de la cordillera de Los Andes son más jóvenes, pues se formaron principalmente desde sedimentos volcánicos del Holoceno tardío ( $\approx < 4.000$  años); en cambio, los suelos de la costa provienen de épocas pleistocénicas ( $\approx > 70.000$  años). Los suelos de la Depresión Intermedia presentan más componentes finos que aquellos de Los Andes, porque corresponden a sedimentos más livianos de origen volcánico, seleccionados por su peso por estar más alejados de los volcanes. Sin embargo, no es esta la única explicación para tal condición, ya que también debe considerarse que son suelos de cenizas volcánicas del Holoceno temprano e intermedio ( $\approx 4.000-8.000$  años), de mayor edad que aquellos en Los Andes. Es decir, estos suelos han experimentado un mayor período de meteorización y transformación que sus vecinos del este. El efecto de la meteorización durante la evolución de los suelos tiene, además, consecuencias en la composición química del suelo, ya que, especialmente en los primeros 2.000-3.000 años se produce una fuerte pérdida de elementos como silicio, alcalinos y alcalino-térreos y aluminio, mientras que en el suelo superficial se va acumulando mayor cantidad de materia orgánica (Egli *et al.* 2001).

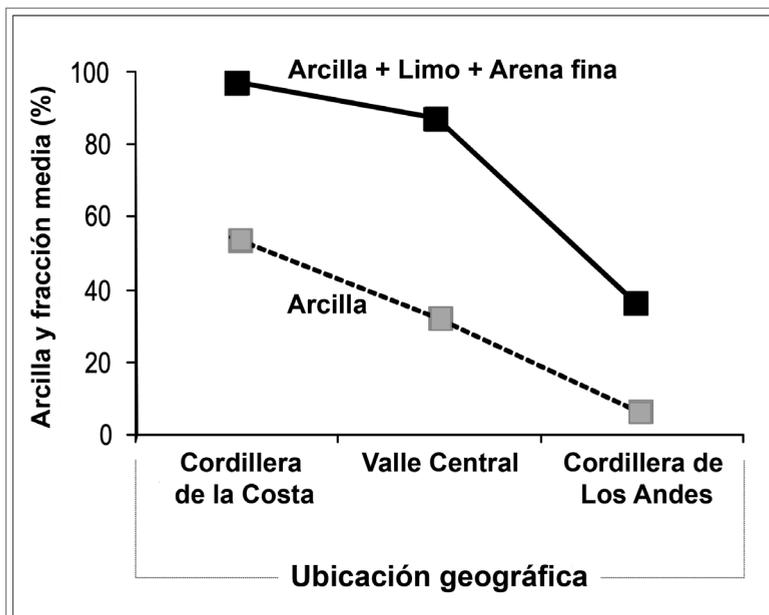


Figura 2.3 Variación del contenido promedio de las fracciones finas (arcilla, limo, arena fina), en los suelos correspondientes a un gradiente este-oeste en la región de Los Ríos, Chile (adaptado de Grez 1977).

La variabilidad del suelo sigue ciertas tendencias de acuerdo a qué factores y procesos han influido más en su formación y evolución y tendrá un carácter principalmente regional. Por eso, para cada región se debe distinguir cuáles factores y procesos son los más importantes que explican las causales de variación en sus suelos, en su propia área geográfica.

## 2.2 Fertilidad del suelo

### 2.2.1 Concepto de fertilidad del suelo

El suelo, en su proceso de formación, adquiere características particulares de acuerdo a la ubicación geográfica en la cual está inserto. En

consideración a esas cualidades propias se puede determinar qué fertilidad presenta para el establecimiento y desarrollo de los vegetales. La vida del reino animal y del ser humano depende de la fertilidad del suelo, la cual se puede formular como sigue: la fertilidad del suelo es la capacidad de este de servir como lugar de desarrollo a las plantas y de producir frutos o un rendimiento.

Las plantas desarrollan sus raíces, su sistema de anclaje y de absorción de agua, oxígeno y nutrientes, en el espacio que ofrece un suelo. Por lo tanto, mientras mejor expansión horizontal y vertical de las raíces permita un suelo, mejores condiciones presentará para el establecimiento y desarrollo de los vegetales. Sin embargo, no basta solo el concepto de espacio, sino que también la cantidad y calidad de los componentes esenciales que las plantas requieren para su crecimiento: agua (aprovechable por los vegetales), aire (oxígeno para las raíces) y nutrientes (elementos nutritivos esenciales y ausencia de elementos tóxicos), además de presentar una temperatura que favorezca la actividad biológica, es decir, el metabolismo (figura 2.4). Estos factores que deciden la fertilidad se tratan en el subcapítulo 2.2.2.

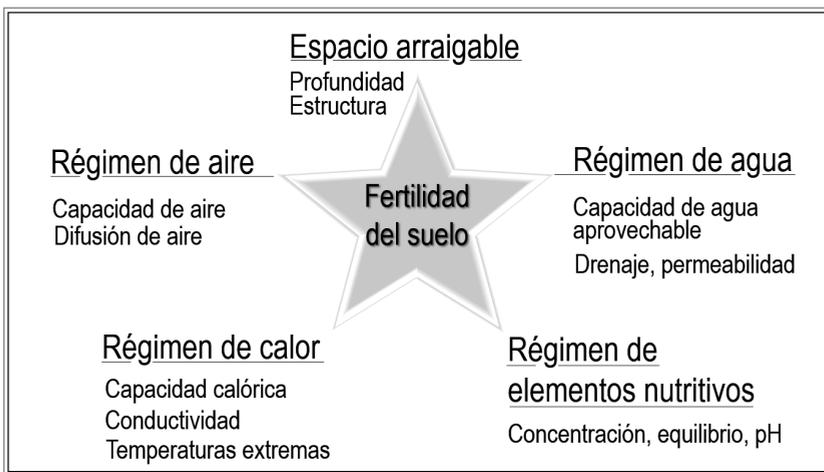


Figura 2.4 Diagrama de los factores que determinan la fertilidad de un suelo, con algunas características principales a modo de ejemplo.

La fertilidad del suelo se evalúa por el rendimiento vegetal que se logra en un suelo con base en las siguientes mediciones: crecimiento anual en sustancia orgánica (materia seca expresada en toneladas por hectárea), complementada con la exuberancia de la vegetación (variedad de especies y densidad de sus individuos), así como las fluctuaciones que presenta el rendimiento promedio anual. Es decir, mientras mayores sean los rendimientos, más exuberante la vegetación y mientras menos fluctúe el rendimiento en el mediano a largo plazo, tanto más fértil será un suelo (Schroeder 1984). El mismo autor diferencia, dentro del concepto de fertilidad general, aquellos de fertilidad actual y fertilidad potencial:

- Fertilidad actual: fertilidad en las condiciones actualmente dadas.
- Fertilidad potencial: fertilidad máxima alcanzable bajo condiciones óptimas de todos los factores que definen la fertilidad.

Un suelo de cenizas volcánicas en la precordillera andina de Chile Centro-Norte puede presentar una capa profunda de sedimentos, con fertilidad potencial muy alta, pero en la realidad manifiesta solo mediana fertilidad actual, por la escasez de pluviometría en el período estival. Su productividad puede ser aumentada a través de riego (largo período estival seco), con fertilización de aquellos elementos con baja disponibilidad natural, el establecimiento de plantas genéticamente seleccionadas o mejoradas y con un cultivo adecuado. En cambio, un suelo arenoso en una región inmediatamente al sur, como los que sedimentó el río Laja en la Depresión Intermedia al este de Los Angeles, tiene poco potencial, por su baja capacidad de retención de agua y su mayor resistencia al arraigamiento. Además, a pesar de sus altas reservas en bases, su oferta de nutrientes también es limitada por su textura gruesa.

### *2.2.2 Factores componentes de la fertilidad*

#### ***Espacio arraigable***

El espacio arraigable o enraizable en suelos formados *in situ* (formados por meteorización de la roca del lugar) es coincidente, en general, con la

profundidad de desarrollo de un suelo: la profundidad de los horizontes A y B (figura 2.2). En suelos de origen sedimentario (formados por sedimentos provenientes de otro lugar) depende en general de la profundidad de este sedimento. Sin embargo, existen otras características del suelo que pueden limitar el desarrollo de las raíces mediante impedimentos físicos o a su aireación y drenaje. Entre ellas destacan suelos con horizontes de acumulación de arcilla o suelos de textura fina compactados, con bajo volumen de poros gruesos, alta densidad aparente o alta resistencia a la penetración radical. Otros factores limitantes frecuentes son los siguientes: napa freática superficial, en cuyo caso el agua libre ocupa todo el espacio poroso del suelo bajo la napa; contenido salino muy alto (suelo superficial en la Pampa del Tamarugal); cambios bruscos en el potencial de óxido-reducción (suelos ñadi, Aquands), sedimentos de grava o pedregosos poco evolucionados (subsuelo en terrazas de río) y formación de estratos de acumulación de óxidos, de hierro y manganeso (ortstein o fierrillo), como los que se presentan en el sector de Chamiza, Puerto Montt. Para mejor precisión se diferenciará entre los siguientes conceptos (Schlatter *et al.* 2003):

- Profundidad total: espesor del material suelto o regolito que yace sobre roca o material consolidado. Incluye los horizontes A, E, B y C.
- Profundidad de desarrollo: espesor del material suelto o no consolidado, modificado en distinto grado por procesos pedogénicos. Incluye los horizontes A, E y B y sus transiciones.
- Profundidad de raíces: profundidad hasta la cual se presentan raíces y raicillas en la matriz del suelo y se determina a través de la densidad de raíces finas (diámetro  $\leq 2$  mm) en el perfil (excluye la profundización de las raíces a través de grietas). Este arraigamiento es el resultado tanto de las condiciones naturales del suelo como de las características genéticas propias de las especies vegetales.
- Profundidad fisiológica o arraigable: espesor del suelo potencialmente arraigable, coincidiendo en general con la profundidad total o regolito (figura 2.2), con excepción de aquellos suelos

que tienen limitantes absolutas y permanentes como nivel freático, horizontes cementados o compactados hasta tal punto que impiden el arraigamiento. Es la profundidad de mayor interés para evaluar la fertilidad potencial del suelo.

- Profundidad efectiva: corresponde a la anterior, descontando el volumen de pedregosidad presente en el perfil de suelo. Por ejemplo: profundidad fisiológica de 100 cm con presencia de 30 % de pedregosidad, equivale a una profundidad efectiva de 70 cm.

El espacio de suelo disponible para las raíces, expresado como profundidad, tiene un efecto directo en el crecimiento y productividad de los bosques (figura 2.5). Suelos muy profundos, bien drenados, no presentan limitaciones al crecimiento, pudiendo expresar estos bosques todo su potencial en la medida que la oferta de agua es mayor. Una profundidad fisiológica  $\geq 60$  cm permite proyectar el crecimiento a medida que aumenta la oferta de agua por precipitaciones. Sin embargo, si el suelo presenta limitaciones crecientes en profundidad, la mayor oferta de agua puede significar la saturación periódica del suelo, especialmente en suelos planos, impidiendo, por una parte, la aireación de las raíces y, por otra, limitando los recursos que el bosque requiere para su desarrollo. Esto se observa en la figura 2.5 para suelos menores a 30 cm de profundidad. Así, por ejemplo, suelos muy delgados (profundidad  $< 10$  cm) son restrictivos para el desarrollo de los árboles y el crecimiento es afectado con precipitaciones  $> 800$  mm anuales, porque la profundidad enraizable es saturada de agua cuando las lluvias superan ese límite, al menos por un período importante (algunos meses), dañando al sistema radical, lo que se agrava si las precipitaciones son aún más abundantes. Con 20 cm de profundidad, este efecto negativo se observa desde 1.600 - 1.800 mm anuales. Sin embargo, tales cifras cambiarán según sea la distribución pluviométrica en el año, disminuyendo la pluviometría crítica si las lluvias se concentran en pocos meses.