

**Facultad de Ciencias Forestales
UNIVERSIDAD DE CHILE**



Ecología Vegetal y Geografía de Recursos Naturales

**Editores
Jaime Hernández
Claudia Cerda**

**Coordinadores
Claudia Cerda J.
Jaime Hernández P.**

- Enero 2008 -

ÍNDICE

Presentación.....	4
1 BIOLOGÍA VEGETAL	7
1.1 Introducción.....	8
1.2 Características del cuerpo vegetal	8
1.3 La célula vegetal.....	8
Membrana celular.....	9
Citoplasma.....	10
Sistema de endomembranas	12
Retículo endoplásmico	13
Aparato o Complejo de Golgi.....	14
Lisosomas	15
Peroxisomas-Microcuerpos	16
Vacuolas	16
Mitocondrias.....	17
Plastidios.....	18
Cloroplastos.....	19
Ribosomas	20
Sustancias ergásticas	21
Núcleo.....	23
Cromatina	24
1.4 Reproducción celular.....	25
Ciclo celular.....	25
Replicación del ADN	26
Mitosis	28
1.5 Histología vegetal.....	30
Epidermis	31
Tejido vascular primario.....	36
1.6 Organología vegetal.....	40
Raíz.....	40
Tallo.....	42
Flor, fruto, semilla	45
2 BOTANICA FORESTAL	49
2.1 Elementos de taxonomía vegetal	49
Nomenclatura	49
Jerarquías taxonómicas.....	50
Identificación taxonómica.....	51
Grupos taxonómicos en que se encuentran representados los principales árboles	52
Tamaño del tallo	55
Longevidad.....	55
Duración del follaje (se aplica solo para plantas leñosas)	55
Formas de copa y sistemas de ramificación de los ejes.....	56
Las flores determinan la sexualidad de los árboles	56
Los árboles producen frutos y semillas	57
2.3 Distribución en el espacio: origen y distribución geográfica	58

Árboles nativos, autóctonos	59
Árboles introducidos, exóticos o alóctonos.....	59
2.4 Usos y funciones de los árboles.....	59
2.5 Actividad de terreno	60
3 PRODUCTOS DEL ÁRBOL Y LA MADERA	62
3.1 ¿Qué es la madera?	62
3.2 Madera Aserrada	62
3.3 La Madera: productos de CMPC_remanufactura.....	63
3.4 Teoría de la fabricación de muebles	64
3.5 Ecología de fabricación	65
3.6 Economía y gerencia	65
3.7 Teoría de la usabilidad de muebles.....	66
3.8 La Celulosa	67
3.9 Usos finales de la celulosa.....	70
3.10 ¿Qué es el papel?	70
3.11 Propiedades del papel	71
4 ECOLOGÍA BÁSICA	75
4.1 La ecología como disciplina científica	75
Origen y definición del término ecología	75
4.2 Síntesis histórica del desarrollo de la ecología	76
Concepto de niveles de organización biológica; subdivisiones de la ecología	78
4.2 El Ecosistema	80
Concepto de ecosistema. Atributos y propiedades.....	80
Los modelos y la representación funcional de los ecosistemas: Componentes y procesos	81
Organización estructural del ecosistema.....	83
Naturaleza cibernética y estabilidad de los ecosistemas.....	83
4.3 Ciclos de materia y energía	84
Antecedentes generales.....	84
Flujo y Balance Energético	85
Flujos de materia y energía en los ecosistemas. Cadenas tróficas y pirámides ecológicas.....	87
Ciclos biogeoquímicos	90
5. ECOLOGÍA APLICADA	93
5.1 Plantas, crecimiento y desarrollo en función del ambiente en que viven.....	93
5.2 Efectos del estrés hídrico sobre la morfología y anatomía de plantas de especies forestales.....	98
Déficit hídrico en las plantas	98
Crecimiento y distribución de biomasa en condiciones de déficit hídrico.....	100
Anatomía foliar en condiciones de déficit hídrico	101
5.3 Efectos morfológicos y de crecimiento en plantas sometidas a daños o disturbios	105
Efecto del déficit nutricional en las plantas.....	106
6 GEOGRAFÍA DE LOS RECURSOS NATURALES.....	108
6.1 Conceptos preliminares	108
6.2 Clasificación de los recursos naturales.....	108
Recursos Naturales Inagotables.....	109
Recursos Naturales Agotables.....	109
6.3 Recursos naturales renovables.....	110
Recursos Hídricos.....	110

Recursos Hídricos en Chile	110
Recursos Edáficos	111
6.4 Uso del suelo en Chile	111
6.5 Suelo y Erosión.....	112
6.6 Recursos Marinos	113
Aspectos Generales	113
Recursos Marinos en Chile	113
6.7 Recursos Agropecuario y Forestal.....	115
Clases de Suelos.....	115
Distribución Geográfica en Chile	115
Recursos Agropecuarios	116
Recursos Forestales	117
6.8 Problemas ambientales en Chile relacionados con los recursos naturales renovables	118
6.9 Conservación de los recursos naturales renovables.....	121
7 EVALUACIÓN Y MONITOREO DE LOS RECURSOS NATURALES.....	125
7.1 Introducción.....	125
7.2 Fundamentos de la evaluación y monitoreo de recursos naturales.....	125
7.3 Los Sistemas de Información Geográfica como apoyo al estudio de recursos naturales.....	127
7.4 Una mirada desde el espacio: empleo de imágenes satelitales para la evaluación y monitoreo.....	132
8. SALIDA A TERRENO: RESERVA NACIONAL LAGO PEÑUELAS	140
Charla de bienvenida	140
Reconocimiento y navegación en terreno.....	140
Reconocimiento de especies de flora y vegetación	140
Medición de árboles de pie.....	140
Evaluación de las áreas de merienda y educación ambiental	140
9. Uso y gestion de los recursos forestales	141
Distribución de clases de edad	148
Proyección de distribuciones de clases de edad	148
BIBLIOGRAFÍA	152
10. CONSERVACIÓN EN ECOSISTEMAS FORESTALES	153
Introducción.....	153
Conservación del bosque nativo en Chile	153
Manejo de Ecosistemas	154
Manejo de Fauna Silvestre	155
Restauración Ecológica	156

Presentación

Descripción

¿Cómo crecen las plantas? ¿Cuáles son especies chilenas y cuáles exóticas? ¿Cómo puedo evaluar y monitorear su desarrollo? Este curso entrega al estudiante los conocimientos básicos y aplicados acerca de las especies vegetales, y en especial de árboles y bosques. Se revisarán contenidos que ayudan al estudiante a adquirir nociones básicas para sus primeros años de universidad y refuerzan aspectos temáticos específicos incluidos en la PSU. El curso incluye los siguientes contenidos: biología vegetal, botánica forestal, ecología básica y aplicada, geografía de recursos naturales, productos del árbol, tecnologías de evaluación y monitoreo (fotografías aéreas, imágenes satelitales y GPS), y por último, el uso, gestión y conservación de los recursos forestales.

Modalidad de clases y actividades prácticas (salida a terreno)

El curso tiene una duración de 2 semanas, con clases de 9:00 a 13:00 hrs. de lunes a viernes en el Campus Antumapu (Santa Rosa 11315) de la Universidad de Chile. Las clases serán teóricas de 9:00 a 10:45 hrs. y prácticas de 11:00 a 13:00 hrs. Las actividades prácticas son de dos tipos: en el campus Antumapu y una salida a un Parque Nacional. En el Campus se realizarán trabajos en el vivero con especies nativas, reconocimiento de flora nativa y exótica, confección de un herbáreo, prácticas con instrumentos especializados para la medición de alturas y diámetros de árboles, y el uso de fotografías aéreas e imágenes de satélite. La salida a terreno contempla la visita por un día a la Reserva Nacional Lago Peñuelas e incluye actividades de observación de naturaleza, discusión de conceptos ecológicos aplicados, reconocimiento de especies, y la aplicación de técnicas de ubicación en terreno con brújulas, mapas, y GPS navegadores.

Requisitos y Vacantes

Se aceptará un máximo de 40 alumnos de 2º, 3º o 4º medio.

Docentes

Académicos de la Facultad de Ciencias Forestales.

Movilización al Campus y servicios disponibles

Se dispondrá de un bus de acercamiento hasta el Campus Antumapu desde la estación del metro Santa Rosa (línea 4A) todos los días a las 8:30 hrs. Los alumnos tendrán acceso a la biblioteca central y al campo deportivo. El casino estará funcionando durante todo Enero.

Certificados

Los alumnos que hayan asistido a la totalidad de las horas contempladas en el Curso de Verano, recibirán una certificación oficial por parte de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Chile. Este documento será válido para la aprobación de los contenidos teóricos insertos en la asignatura de Geografía Forestal, curso que se imparte en el primer año para las Carreras de Ingeniería Forestal e Ingeniería de la Madera, en la Universidad de Chile.

Programa del curso

- **Biología Vegetal**, Prof. Adelina Manriquez. Entrega la información básica necesaria para que el estudiante conozca y comprenda que: i) la célula vegetal es la unidad biológica donde se genera la productividad primaria de las plantas, ii) los vegetales en general y los árboles en particular tiene la capacidad de producir una gran diversidad de tejidos y de crecer durante toda su vida, y iii) los productos del árbol, tales como la madera, los frutos, o compuestos como el almidón y la celulosa, provienen de actividades que se inician en las células de los diferentes tejidos y que son posibles de identificar y caracterizar con técnicas histológicas sencillas, aplicables en laboratorio. Además se analizará a la madera como fuente de riqueza, revisando sus características: resistencia, color, peso, textura tiene su base en el tipo de células que la conforman y, especialmente cómo ellas se organizan.
- **Botánica Forestal**, Prof. María Teresa Serra. Se incluyen los siguientes temas: concepto de árbol, elementos que lo definen, criterios modernos y tradicionales, formas de crecimiento, y el sexo de los árboles. Elementos de taxonomía: Importancia de los caracteres morfológicos en la determinación de una especie arbórea. Además, se revisan los usos y funciones de árboles: árbol de interés forestal, protección ecológica, arbolado urbano. Como práctica, se describirán en terreno las especies leñosas arbóreas más importantes del país tanto nativas como exóticas cultivadas. Se tendrá en consideración caracteres botánicos sobresalientes, culturales, hábitat, aplicaciones y usos.
- **Productos del Árbol y la Madera**, Prof. Javier González. Se describe el recurso forestal y la madera como producto. Se analiza el aporte al país de la industria forestal y se revisan los siguientes derivados: aserrado, tableros, celulosa, papel, partes y piezas de muebles. Por último se revisan algunos productos no madereros del bosque, tales como extraíbles, hongos, miel y otros.
- **Ecología Básica**, Prof. Juan Caldentey. Se describen los principios básicos de la ecología en términos teóricos y aplicados, con especial referencia a los ecosistemas forestales. Se revisarán las relaciones organismo-ambiente, los conceptos de población y comunidad, su descripción y dinámica, así como también su aplicación en el estudio de asociaciones vegetales.
- **Ecología Aplicada**, Profs. Karen Peña y Sergio Donoso. Se estudian las relaciones del árbol con su medio ambiente. Aspectos teóricos: Los árboles como parte integrante de los ecosistemas, su interrelación con factores del clima, suelo y animales, estrategias utilizadas por los árboles para adaptarse a diferentes medioambientes. Además, se analiza el rol de los bosques como reguladores del medio ambiente y la acción de los bosques en el calentamiento global. Aspectos prácticos: se evaluará, en plantas creciendo en cultivo hidropónico, la respuesta a deficiencias nutricionales, el crecimiento en macetas y en preparaciones histológicas la adaptación de los árboles a condiciones de aridez.
- **Geografía de Recursos Naturales**, Prof. Roberto Garfias. Se describen los recursos vegetacionales existentes en cada región, sus relaciones con el suelo y el clima, además del impacto en la economía regional y nacional.

- **Evaluación y Monitoreo de los Recursos**, Prof. Miguel Castillo. Este módulo permite conocer, utilizar y comprender los instrumentos y técnicas modernas aplicadas a la evaluación y monitoreo espacio-temporal de los recursos naturales, con énfasis en masas forestales y ambientes naturales asociados. Se utilizan software de última generación en tratamiento de mapas digitales y procesamiento digital de imágenes.
- **Salida a terreno**, Profs. Claudia Cerda y Jaime Hernández. Durante un día se visita la Reserva Nacional Lago Peñuelas en donde se realizarán prácticas de navegación con cartografía especializada y el apoyo de fotografías aéreas, reconocimiento de flora y fauna, y aspectos de ecología forestal, silvicultura, ecoturismo y educación ambiental.
- **Uso y Gestión de los Recursos Forestales**, Prof. Horacio Bown: En el curso se da a conocer la cadena productiva forestal dentro de un marco de sustentabilidad de los recursos forestales, además de ilustrar sobre los servicios ambientales de los ecosistemas forestales y bosques a nivel nacional.
- **Conservación en Ecosistemas Forestales**, Prof. Cristián Estados. En este curso se describen las principales aproximaciones a la conservación de nuestro patrimonio natural en ecosistemas forestales. Reservas. Conservación y manejo de fauna silvestre. Restauración de Ecosistemas. Compatibilización de la Producción con la Conservación. **Horarios**

Primera Semana: 7-11 de Enero 2008:

Horario	Lunes 7	Martes 8	Miércoles 9	Jueves 10	Viernes 11
9:00-13:00	Botánica Forestal M.T. Serra	Biología Vegetal A. Manríquez	Productos del árbol y la madera J. González	Ecología Básica Juan Caldentey	Ecología Aplicada K. Peña S. Donoso
13:00-14:00	A l m u e r z o				
14:00-16:00			Recorrido por el Campus y explicación de funcionamiento de biblioteca		

Segunda Semana: 14-18 de Enero 2008:

Horario	Lunes 14	Martes 15	Miércoles 16	Jueves 17	Viernes 18
9:00-13:00	Geografía de Recursos Naturales R. Garfías	Evaluación y monitoreo Miguel Castillo	Salida a terreno Reserva Nacional Lago Peñuelas	Uso y Gestión de Recursos Forestales H. Bown	Conservación en Ecosistemas Forestales C. Estados
13:00-14:00	A l m u e r z o				
14:00-16:00			Salida a terreno Reserva Nacional Lago Peñuelas		

1 BIOLOGÍA VEGETAL

Mila Arellano A.
Adelina Manríquez L.



1.1 Introducción

Los vegetales superiores o plantas vasculares (con tejidos vasculares diferenciados), como seres pluricelulares, son el producto de un largo proceso de cambios y transformaciones ocurridos a lo largo de miles de años. Están diseñados para poder vivir en condiciones ambientales diferentes al medio acuático ocupado por los organismos unicelulares, lo que supone una serie de dificultades a las que las plantas han debido adecuarse para mantenerse en el tiempo.

El ambiente más común para las plantas es el terrestre, donde la fuerte reducción de la humedad relativa, respecto del medio acuático, obligó al desarrollo de estrategias que permitan la captación de agua por un lado y evitar su pérdida por otro. Junto a lo anterior, se debieron desarrollar sistemas de soporte mecánico que les permitiera permanecer erguidos y resistir la fuerza del viento. También el desarrollo de las hojas, las plantas consiguieron combinar una gran superficie de contacto con poco peso y gran elasticidad.

Por otra parte, la ocupación del ambiente terrestres determinó drásticos cambios en la forma de reproducción, haciéndola altamente eficiente a través del desarrollo de estrategias para la polinización, fecundación y dispersión de las semillas para asegurar el éxito de proceso.

1.2 Características del cuerpo vegetal

En las plantas, al igual que en todos los organismos pluricelulares, la diferenciación ha permitido el desarrollo de cierto grado de especialización y división del trabajo entre sus células, sin embargo, la *integración celular* es fundamental para el funcionamiento del individuo, cumpliéndose el hecho que el ser vivo es más que la suma de sus partes. No obstante, en los vegetales la diferenciación morfológica es menor que en los animales, pudiendo deberse a la imposibilidad de desplazamiento, la uniformidad de su nicho ecológico y a la dependencia de la captación de energía luminosa.

Otra característica fundamental de las plantas superiores es que tiene dos tipos de crecimiento: el *primario* y el *secundario*. El crecimiento primario es el que se expresa por el crecimiento en altura y/o longitud, y está determinado por los meristemas apicales o primarios, se producirá durante toda la vida del vegetal. El crecimiento secundario, presente en la mayoría de las plantas vasculares, con excepción de las Liliopsidas (Monocotiledóneas) está a cargo de los meristemas laterales o secundarios y da lugar al crecimiento en grosor.

Otra característica importante del cuerpo del vegetal es el reducido espesor, en general, de las partes vivas de la planta, es así que la gran masa viva es laminar o filamentosa (hojas y tallos). El resto del cuerpo está formado por tejidos muertos que darán principalmente soporte mecánico y facilitarán el transporte de agua.

1.3 La célula vegetal

Pared celular

Aunque en una vegetal existe una diversidad de tipos celulares organizados en tejidos que forman los diferentes órganos de una planta, todas ellas tienen una estructura básica común que se caracteriza por presentar una pared que determina la forma celular, textura del tejido, protege de daños mecánicos y de la desecación, da resistencia al vegetal. Su rigidez es responsable de la resistencia y forma de las células, permitiendo su expansión en una o más dimensiones.

Está constituida por: lámina media, pared primaria y pared secundaria, las dos primeras presentes en todas las células de una planta, la última, sólo en aquellas altamente especializadas. El grosor de la pared es variable, dependiendo del tipo celular, edad y estado fisiológico de la célula. Su composición química básica es celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas y proteínas, encontrándose, de acuerdo al tipo celular además, lignina, ceras, cutina, suberina y sales minerales. (Figura 1)

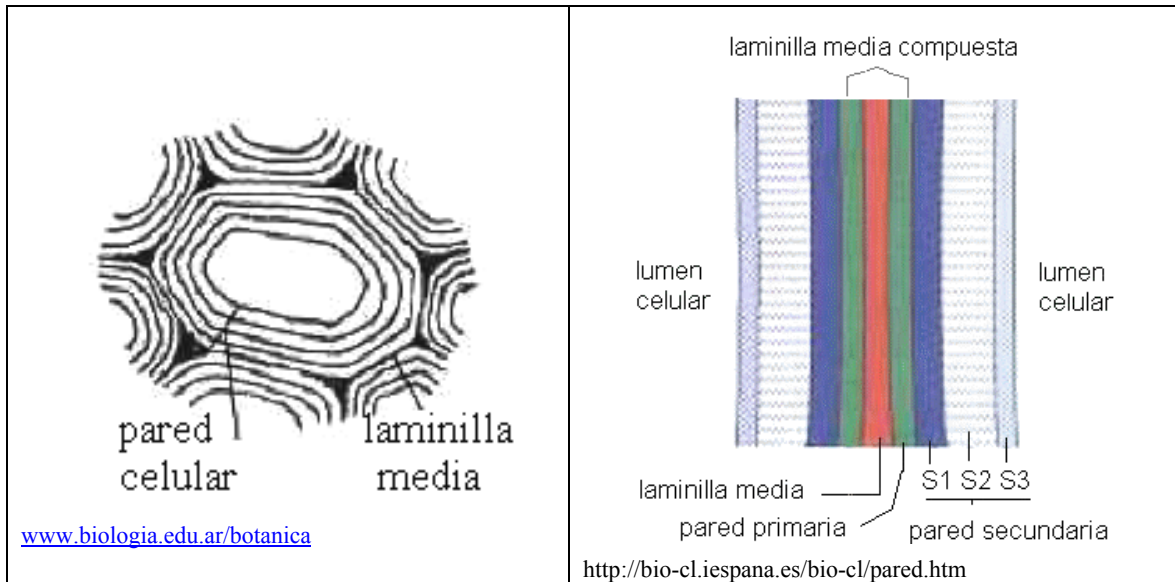


Figura 1. Esquema de la estructura de la pared celular

Membrana celular

Estructura común a todas las células, es visible sólo al microscopio electrónico, ya que su grosor sólo alcanza aproximadamente a 75 Å ($1\text{ mm} = 1.000\text{ }\mu\text{m}$; $= 10.000\text{ Å}$). Constituye una verdadera barrera morfofuncional que separa a la célula del ambiente que la rodea. Figura 2.

Los principales componentes de la membrana son lípidos (40-60%) y proteínas (30-40%). Los lípidos (fosfolípidos) forman una bicapa con un centro hidrofóbico y superficies hidrofílicas donde se localizan las “cabezas” de los lípidos. Las proteínas pueden fijarse a las superficies de la bicapa (proteínas extrínsecas) o insertarse a través de la bicapa (proteínas intrínsecas). Algunos de los lípidos y proteínas tienen unidos grupos carbohidratos (los glicolípidos y glicoproteínas). Se identifican proteolípidos donde la proteína está anclada en la membrana mediante una cola lipídica. En general las proteínas confieren especificidad, mientras que los lípidos proporcionan una matriz más inerte para las proteínas.

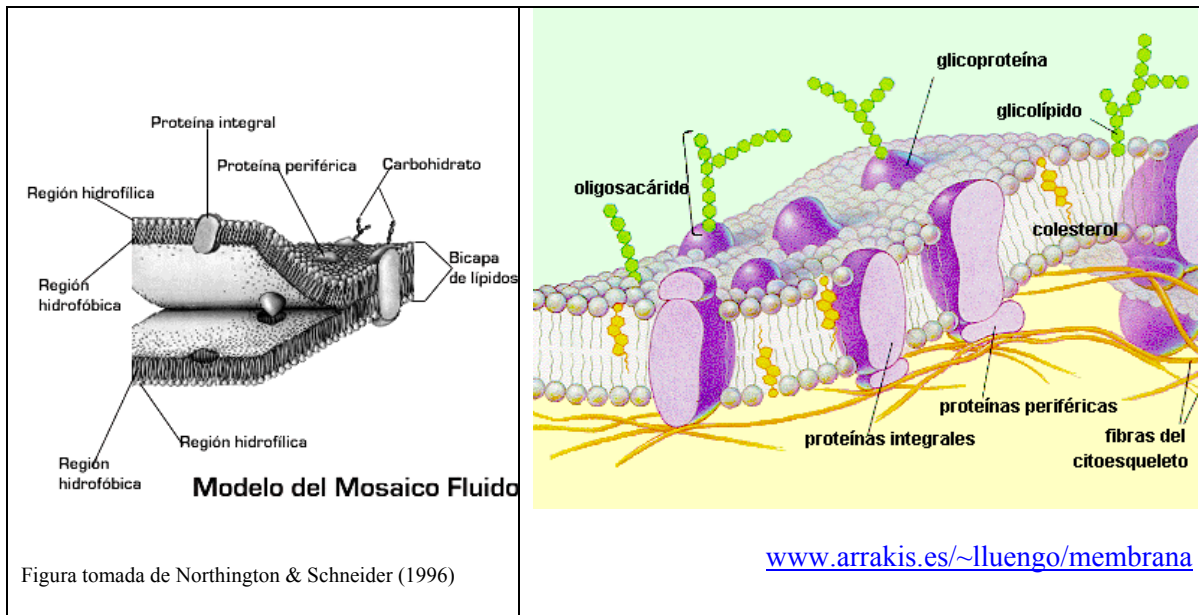


Figura 2. Estructura de la membrana celular.

Citoplasma

El citoplasma es en general, la parte de la célula donde se producen la mayoría de las funciones metabólicas y biosintéticas. Está limitado por la membrana plasmática y se haya separado del núcleo por la membrana nuclear. En los organismos desprovistos de membrana nuclear (bacterias y algas azules) encierra todos los componentes de la célula.

Durante el curso de la evolución se agregaron a la célula numerosas membranas intracelulares constituyendo un Sistema de Endomembranas, que incluye el retículo endoplasmático, aparato de Golgi, membrana nuclear y organoides rodeados por membranas (mitocondrias, cloroplastos, lisosomas, peroxisomas, vacuolas), presentando la célula diversos compartimentos y subcompartimentos.

Dentro del citoplasma los organoides membranosos están suspendidos sobre el citosol o matriz, quedando además inmersos en éste numerosos ribosomas, estos últimos organoides desprovistos de membrana. Figura 3.

Citosol o matriz citoplasmática

Corresponde al verdadero medio interno de la célula y donde se llevan a cabo funciones fundamentales como glucólisis, síntesis de proteínas y motilidad celular. Se encuentra limitado por la membrana plasmática y la membrana nuclear que lo separa del núcleo. El citosol es abundante en células poco especializadas.

Constitución Química

El análisis químico del citosol revela que esta parte de la célula es rica en agua, 85% en término medio y la siguen en abundancia las proteínas, pudiendo ser estructurales o solubles, encontrándose entre estas últimas numerosas enzimas. Contiene además ARNm y ARNt, azúcares, aminoácidos, nucleósidos, nucleótidos, gran número de compuestos del metabolismo intermediario y sales minerales.

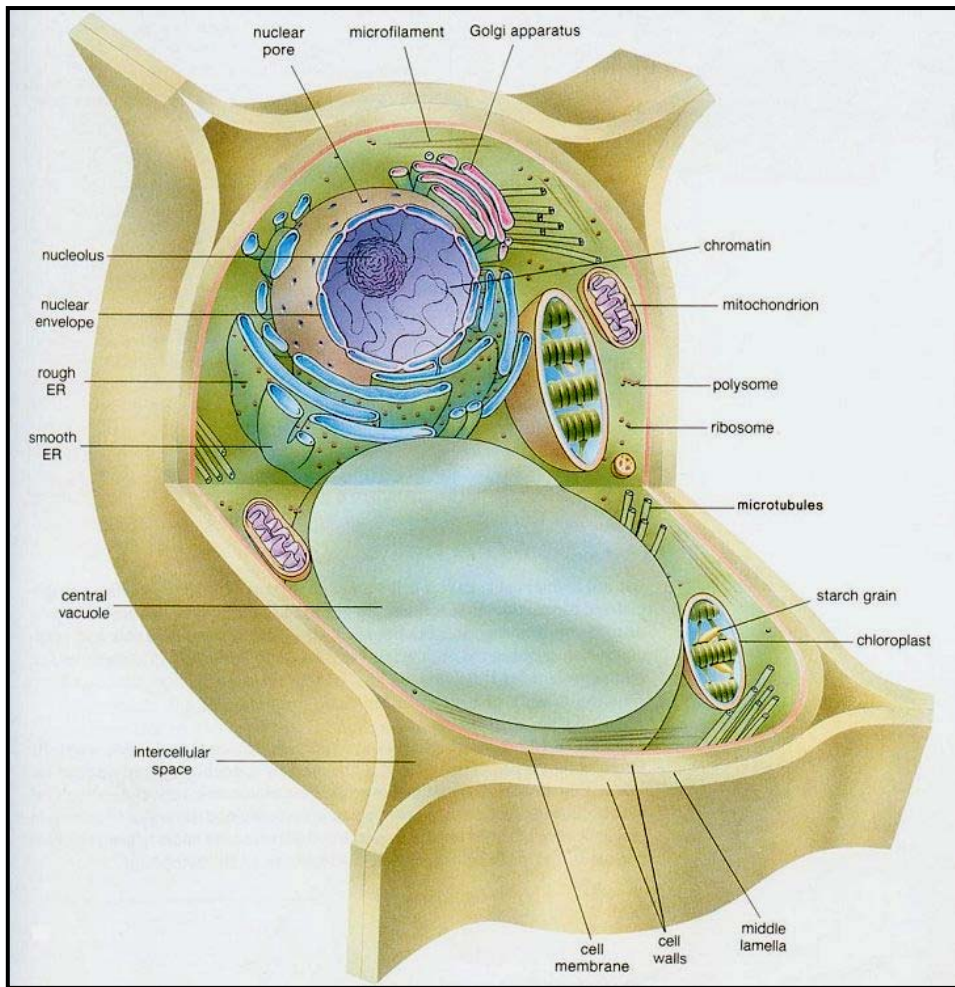


Figura 3. Modelo tridimensional de una célula vegetal

Propiedades Físico-Químicas

El citosol posee las propiedades físicas de un coloide, debido a la existencia de moléculas de gran tamaño (proteínas fibrosas y globulares). Las macromoléculas proteicas, representan la fase dispersa del coloide citoplasmático y el agua y pequeñas moléculas la fase de dispersión. Si la fuerza que mantiene unidas las macromoléculas vecinas es intensa, el coloide citoplasmático presentará la consistencia de un gel (plasmagel), si son débiles corresponde a un sol (plasmasol).

Estructura y ultraestructura

Contiene estructuras vinculadas con la forma y movimientos celulares, de la matriz citoplasmática dependen fundamentalmente las propiedades coloides de la célula. Al microscopio electrónico se puede observar estructuras granulares como inclusiones lipídicas que forman gotitas de diferentes tamaños y estructuras fibrosas, que constituyen el citoesqueleto formado por microtúbulos y microfilamentos, componentes que desempeñan un papel fundamental en varias funciones celulares como: ciclosis, mitosis y clivaje celular. Figura 4.

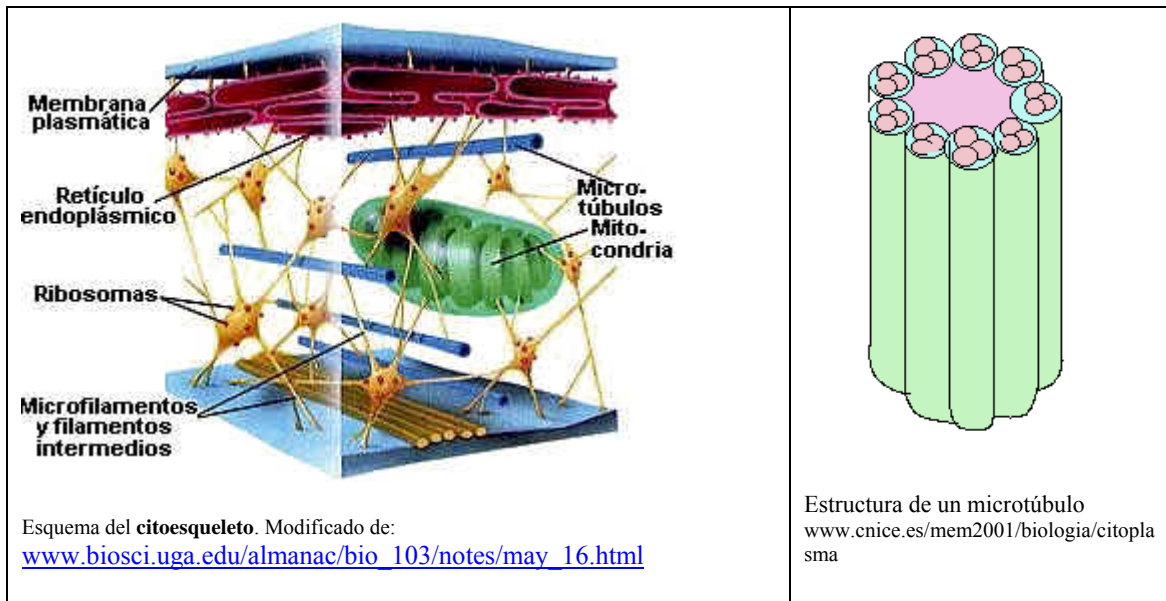


Figura 4. Modelo del citoesqueleto.

Funciones de la Matriz Citoplasmática

- Los orgánulos sumergidos en ella extraen las sustancias necesarias para su funcionamiento y vierten a ella sus productos o sus desechos.
- El citoesqueleto contribuye a la distribución de los constituyentes celulares y a dirigir sus movimientos.
- En el citosol se efectúan gran parte de las reacciones bioquímicas, en este medio se sintetizan aminoácidos, nucleótidos y ácidos grasos. Es el medio celular donde parten las principales vías metabólicas y el lugar donde se producen las transformaciones de energía química en energía mecánica, generadores de movimientos celulares.

Sistema de endomembranas

Esta red de cavidades divide al citoplasma en dos compartimientos fundamentales: uno comprendido dentro de las membranas y el otro situado por fuera de ellas, ocupado por la matriz citoplasmática o citosol.

Esta organización membranosa intracelular o sistema de endomembranas comprende: 1) El retículo endoplasmático (R.E), con sus porciones agranular y granular; 2) El aparato de Golgi; 3) La membrana nuclear y otros organelos con membrana como lisosomas, microcuerpos y membrana vacuolar que tienen su origen en el retículo endoplasmático o el aparato de Golgi.

Este sistema tiene como función el secuestro, empaquetamiento y transporte de las sustancias producidas para ser exportadas por la célula al medio que las rodea.

Retículo endoplásmico

Aproximadamente la mitad del área total de las membranas de una célula corresponde a los espacios laberínticos del retículo endoplasmático (RE). Su denominación se debe a que constituyen un retículo de cavidades más concentrado en la región interna de la célula o endoplasma.

Estructura

Está formado por cavidades de forma variable, sacos membranosos planos, denominados cisternas, otras forman tubos contorneados o vesículas. Estas cavidades están delimitadas por una membrana de 50 a 60 Å de espesor pudiéndose distinguir dos caras en ella, la citoplasmática y la luminal o endoplásmica. El retículo endoplásmico comprende dos partes que se reconocen por la presencia de ribosomas adheridos a la cara citoplasmática de la membrana, distinguiéndose un R.E. granular (R.E. rugoso) donde aparecen formando agregados denominados polisomas y un R.E. agranular (R.E. liso) que carece de estos. Figura 4.

El retículo endoplásmico se puede continuar con la membrana plasmática y nuclear.

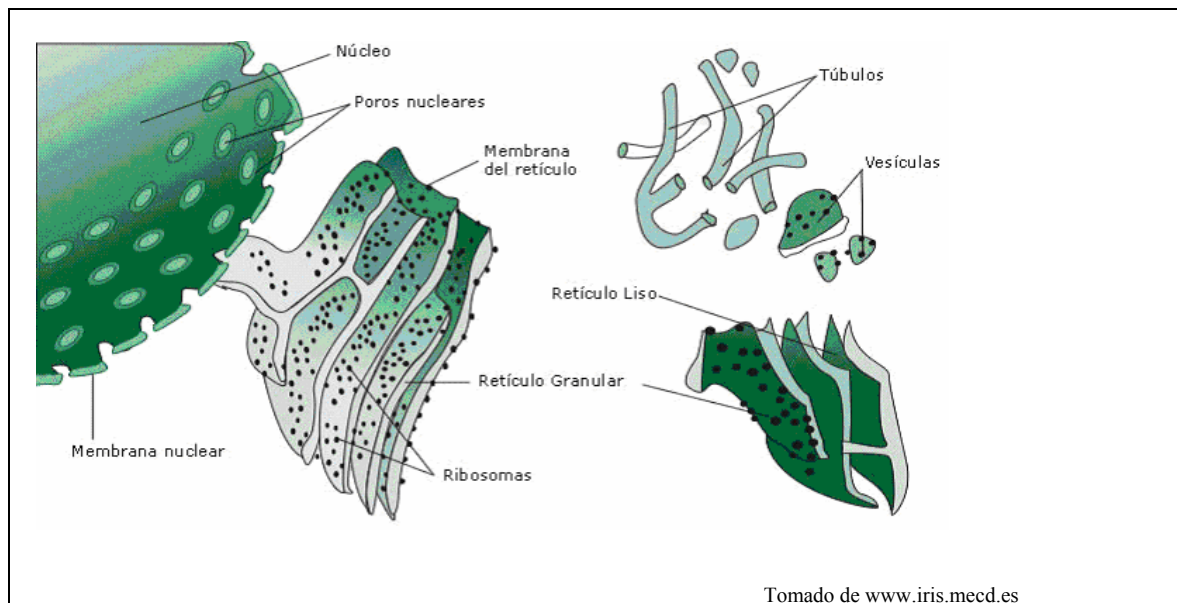


Figura. 4. Esquema tridimensional del Retículo endoplasmático.

Funciones

- Sostén mecánico: al dividir el citoplasma en compartimientos proporciona soporte mecánico a la estructura coloidal del citoplasma.
- Sistema circulatorio para el transporte intracelular de sustancias: las cavidades del retículo se utilizan para transportar diversas sustancias de un punto a otro de la célula.
- Formación de membranas celulares.
- El flujo de membranas constituye un importante mecanismo para el desplazamiento de moléculas, iones y partículas hacia el interior y exterior de la célula.
- Acumulación de sustancias: puede concentrar sustancias procedentes del medio extra o intracelular, las que atraviesan las membranas y se acumulan en las cavidades de retículo.
- Síntesis de proteínas de membrana y proteínas solubles destinadas a ser secretadas o a ser transportadas a otros orgánulos. La síntesis de estas proteínas constituye una de las funciones fundamentales del RER.

- Síntesis de lípidos: en el REL se sintetizan fosfolípidos, triglicéridos y esteroides.
- Desempeña un papel en la formación de ciertos organoides: como cuerpos de proteínas, microcuerpos y vacuolas.
- En las células que se diferencian en tubos cribosos de los vegetales se forman engrosamientos por depósitos de callosa (polisacárido), sobre tubos de R.E. Este organoide se relaciona con la formación de los poros de los tubos cribosos.
- En células vegetales el R.E. conecta células vecinas mediante túbulos del REL que establecen continuidad entre sus sistemas vacuolares a través de los plasmodesmos.

Aparato o Complejo de Golgi

Su localización, tamaño y desarrollo depende del tipo celular y también del estado fisiológico de la célula. La posición es relativamente fija. Está espacial y temporalmente relacionado con el retículo endoplasmático y con la membrana plasmática por intermedio de vesículas.

Estructura

Su estructura está constituida por unidades denominadas dictiosomas, corresponden a una serie de 4 a 6 sacos discoidales que menudo adoptan una organización concéntrico, con una cara convexa y otra cóncava. En la periferia de los dictiosomas se observan vesículas secretoras procedentes de la gemación de la región periférica y dilatada de los sáculos. Figura 5

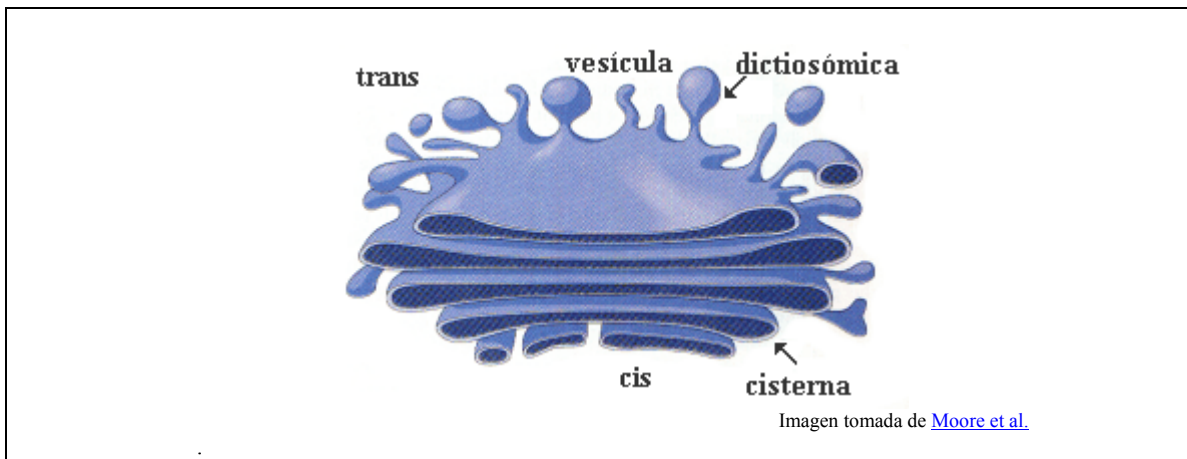


Figura 5. Esquema de la ultraestructura de un dictiosoma, formado por una pila de sáculos aplanados en cuya periferia originan vesículas por gemación.

Funciones

Las funciones principales del Aparato de Golgi son: secreción de proteínas; dar origen los lisosomas; glucosidación de lípidos y proteínas para formar las glucoproteínas; participación en la formación de la pared celular de las células vegetales; síntesis y secreción de polisacáridos (hemicelulosa, sustancias pécticas, etc), durante la formación de paredes celulares; contribuir al crecimiento de la membrana celular o plasmalema; secreción de sustancias en las células glandulares de las plantas carnívoras; segregar mucílago en la parte externa del extremo apical de la raíz que actúa como lubricante y permite su desplazamiento entre las partículas del suelo.

Dentro de la célula se encuentran una serie de orgánulos citoplasmáticos, que se hallan sumergidos en la matriz de las células vegetales. De estos organoides corresponden a estructuras membranosas: lisosomas, peroxisomas (microcuerpos), vacuolas, mitocondrias y plastidios. Además se presentan

organoides que carecen de membranas como: los ribosomas y centriolos, estos últimos solo en células vegetales inferiores.

Lisosomas

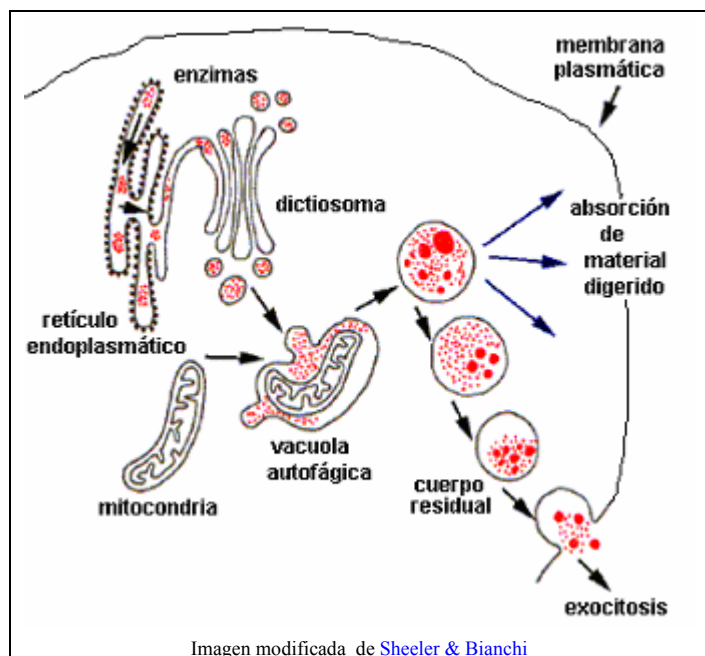
Los lisosomas son organoides citoplasmáticos correspondientes a sacos membranosos de 0.2 a 0.8 μm de diámetro y delimitados por una membrana simple. Existen diferentes tipos de lisosomas de los cuales uno es lisosoma primario y los otros pueden designarse como lisosomas secundarios, resultantes de la asociación de lisosomas primarios con vacuolas endocíticas (heterofagosoma) u organoides celulares (citofagosoma).

El contenido químico de los lisosomas corresponde a enzimas digestivas, las que tienen la propiedad de degradador orgánulos muertos y moléculas de origen intra o extra celular. En células vegetales intervienen:

- En la germinación de la semilla al liberarse al medio extracelular enzimas hidrolíticas que atacan a las sustancias de reserva.
- En los procesos de desaparición de las paredes transversales durante la diferenciación de vasos xilemáticos.
- En la degradación del citoplasma en los tubos lactíferos.
- En los procesos de abscisión de las hojas, de frutos, etc.

Los lisosomas se originan a partir del aparato de Golgi y las enzimas que contiene se sintetizan en el retículo endoplasmático rugoso. Figura 6.

Figura 6. Origen y función de vacuolas autofágicas. Obsérvese las relaciones entre los procesos de exocitosis y autofagia.



Peroxisomas-Microcuerpos

Los perioxosomas o microcuerpos son orgánulos extraordinariamente diversos: en distintas células de un mismo organismo pueden contener distintos tipos de enzimas. Se forman a partir del retículo endoplasmático y corresponden a pequeñas vesículas, rodeadas por sólo una unidad de membrana. Contienen enzimas que participan en diversas reacciones oxidativas. Entre su contenido enzimático se encuentra la catalasa, cuya función es degradar peróxido de hidrógeno (H_2O_2) a oxígeno y agua,

En las células de hojas verdes en los vegetales existen peroxisomas que participan en el proceso de fotorrespiración, en el cual un producto de la fotosíntesis que posee dos carbonos, el ácido glucólico, es liberado por los cloroplastos y oxidado por enzimas presentes en los peroxisomas.

Otro tipo de peroxisomas se halla presente en las semillas de oleágneas en germinación donde desempeñan una función esencial, transformando los ácidos grasos almacenados en los lípidos de las semillas en azúcares necesarios para el crecimiento de la planta joven.

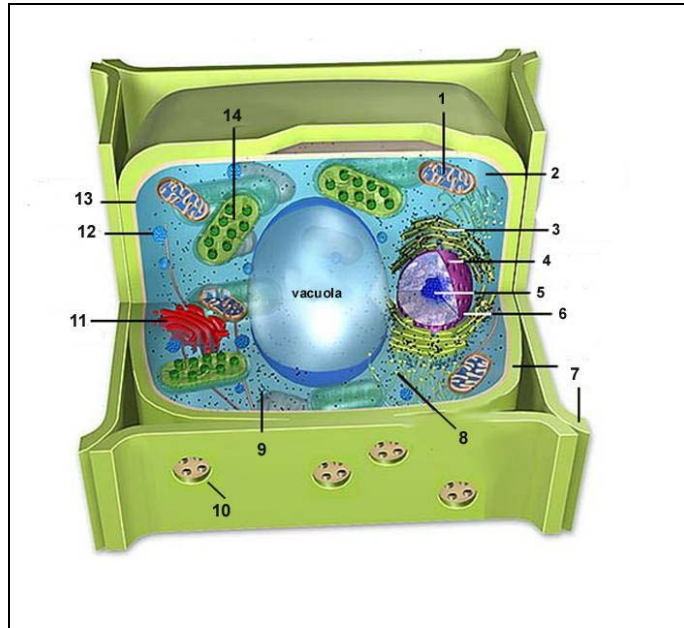
Vacuolas

Las vacuolas son cavidades del citoplasma de células vegetales limitadas por una membrana denominada tonoplasto. El contenido varía en las distintas células e incluso en las distintas vacuolas de una misma célula. Las primeras vacuolas se forman a partir del retículo endoplasmático, en la células jóvenes son de formas redondeadas, pequeñas y numerosas, mientras que en las células adultas, al unirse una a otras, forman una sola gran vacuola que puede ocupar el 90% de ésta, quedando el citoplasma y el núcleo comprimidos contra la membrana plasmática y la pared celular, Figura 7. El conjunto de vacuolas de una célula se denomina vacuoma.

Al contenido de la vacuola se le denomina jugo vacuolar, su principal componente es el agua y en ella se encuentran varias sustancias disueltas en estado coloidal, en emulsión o en forma de cristales insolubles, como sales, azúcares, ácidos orgánicos y, otros componentes solubles, proteínas, lípidos, taninos y pigmentos azulados o rojizos del tipo de las antocianinas.

Las vacuolas tienen un pH más ácido que el citosol, cualquier exceso de iones de hidrógeno en el citosol es bombardeado hacia la vacuola, manteniendo la constancia del pH citosólico.

Figura. 7. Vacuola al interior de una célula vegetal



Las principales funciones de las vacuolas son: acumula reservas y sustancias no necesarias en el metabolismo; debido a la permeabilidad selectiva del tonoplasto y membrana celular, regula la presión osmótica dentro de la célula; contribuye a controlar la turgencia de la célula vegetal; pueden contener enzimas hidrolíticas almacenar sustancias tóxicas, pudiendo ser consideradas como orgánulos de excreción; algunas vacuolas contienen pigmentos que le dan coloración a hojas, flores y raíces, funcionando, según el caso como pigmentos protectores del exceso de radiación y atrayendo a los agentes de la polinización en las flores.

Mitocondrias

Las mitocondrias son organoides granulares o filamentosos, su número varía según el tipo celular y estado funcional. Las mitocondrias son más numerosas que los cloroplastos. En las células de vegetales jóvenes existen aproximadamente 300, aumentado con la edad, hasta llegar más de 3000 en las células maduras.

Presentan forma de bastoncillos, con los extremos redondeados o bien forma de esfera. El diámetro oscila entre 0.3 y 0.7 μm y 1 a 4 μm de longitud.

Las mitocondrias están delimitadas por una membrana continua de 60 \AA de espesor, denomina membrana externa, luego una membrana interna del mismo espesor, ambas separadas por un espacio de unos 60 a 80 \AA . La membrana interna se invagina formando pliegues, denominados crestas mitocondriales, cuya cantidad está en relación directa con la actividad oxidativa de la mitocondria. La membrana interna divide a la mitocondria en dos espacios: la cámara externa, comprendida entre las dos membranas y la cámara interna que corresponde al espacio limitado por la membrana interna, esta cámara está ocupada por la matriz mitocondrial, de naturaleza coloidal que contiene las enzimas del ciclo de Krebs o ácido cítrico. Dentro de la matriz hay ribosomas más pequeños que los citoplasmáticos y ADN circular. La membrana interna contiene las enzimas de la cadena respiratoria y la superficie interna está tapizada por partículas, unidas a la membrana por un pequeños pedúnculo, correspondientes a los complejos F₀-F₁, donde se encuentra las ATP-asas que participan en las síntesis de ATP. Figura 8.

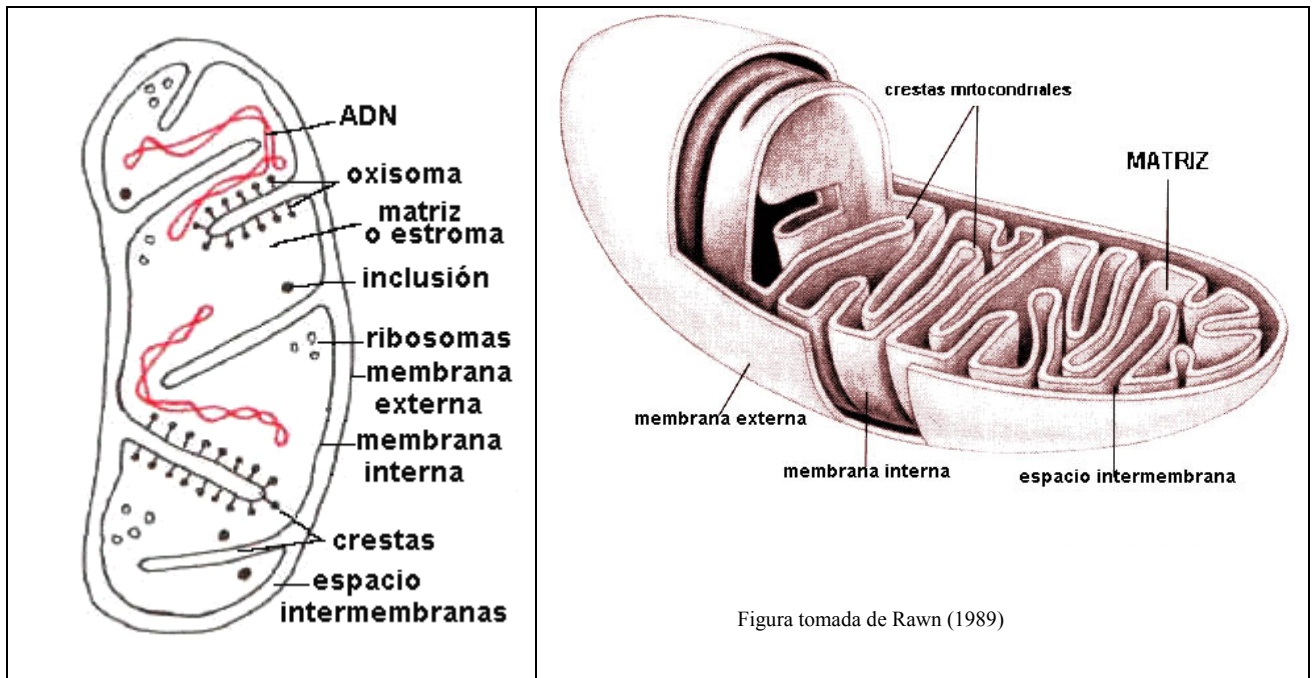


Figura 8. Esquema tridimensional de una mitocondria cortada longitudinalmente. Las crestas son pliegues de la membrana interna, que en el lado de la matriz presentan partículas F₀-F₁

Las mitocondrias producen la energía necesaria para que la célula lleve a cabo sus múltiples funciones. Son organelos semiautónomos, las nuevas mitocondrias se forman por división de mitocondrias preexistentes. El ADN y ribosomas que poseen permite la síntesis de proteínas de la membrana interna. La mayoría de las proteínas mitocondriales son de origen citoplasmático dependiendo de la información genética del núcleo.

Plastidios

Los plastidios son organelos característicos de células vegetales. Las plantas inferiores pueden contener uno o dos por célula, en las superiores se presentan en mayor número.

Los plastidios son cuerpos viscosos, que poseen una membrana limitante externa doble y con algunas excepciones, un sistema de membranas internas. Los plastidios varían en estructuras y función, pero tienen todos su origen en estructuras primordiales similares, los protoplastidios de los meristemos y además una clase de plastidio puede transformarse en otra.

Los plastidios pueden dividirse en dos grupos: pigmentados y no pigmentados. Los plastidios pigmentados se denominan cromoplastos y no pigmentados leucoplastos. Entre los cromoplastos los plastidios verdes, llamados cloroplastos son los más comunes y de mayor importancia para las plantas. Otros cromoplastos, especializados en sintetizar y almacenar pigmentos carotenoides, amarillos, anaranjados o rojos presentes en pétalos, frutos y raíces, no tienen nombres especiales y son los responsables de estos colores que se observan en órganos vegetales. Los leucoplastos se encuentran en células embrionarias, germinales y en las células de regiones de la planta que no reciben luz, incluyen a los amiloplastos que sintetizan y almacenan almidón, abundantes en las células parenquimáticas de la mayoría de los órganos no fotosintetizantes, oleoplastos en los cuales se sintetiza y acumula sustancias lipídicas y proteínoplastos en los cuales se almacenan diversas proteínas.

Cloroplastos

Son los plastidios de mayor importancia biológica, ya que a través de la fotosíntesis que se produce en ellos permite a los vegetales verdes efectuar la transformación de energía lumínica, emitida por el sol, en energía química. Son de color verde por predominar en ellos la clorofila y se encuentran en los órganos de las plantas expuestos a la luz.

Los cloroplastos generalmente presentan forma en discos biconvexos de 3 a 10 μm de diámetros y 1 a 4 μm de espesor. También pueden presentar forma esférica y ovoide. En algas pueden tener la forma de banda espiralada, láminas perforadas, estrelladas, etc. Los cloroplastos son arrastrados por la corriente citoplasmática como puede ser observado por el microscopio óptico en células vivas.

Estructura y ultraestructura

Al microscopio electrónico los cloroplastos revelan que están limitados por una membrana continua de 75 Å de espesor, la membrana plastidial externa; bajo ésta se encuentra una membrana plastidial interna, de 75 Å de espesor que delimita una región rellena de sustancias gelatinosa, el estroma, en medio del cual se encuentran ribosomas y ADN circular, los que intervienen en la síntesis de algunas proteínas estructurales, además contiene gotitas lipídicas y granos de almidón. En el estroma se encuentra un conjunto de vesículas aplanadas que constituyen las llamadas granas, cada una compuesta por la superposición de sacos o discos planos denominados tilacoides.

En las lamelas se ubican los pigmentos carotenoides y clorofilas a y b que absorben la energía luminosa, también se localizan los sistemas transportadores de electrones y de formación de ATP, realizándose en los tilacoides, las reacciones fotoquímicas de la fotosíntesis. Los cloroplastos contienen ADN, ribosomas y toda la maquinaria necesaria para la síntesis de algunas proteínas. Figura 9.

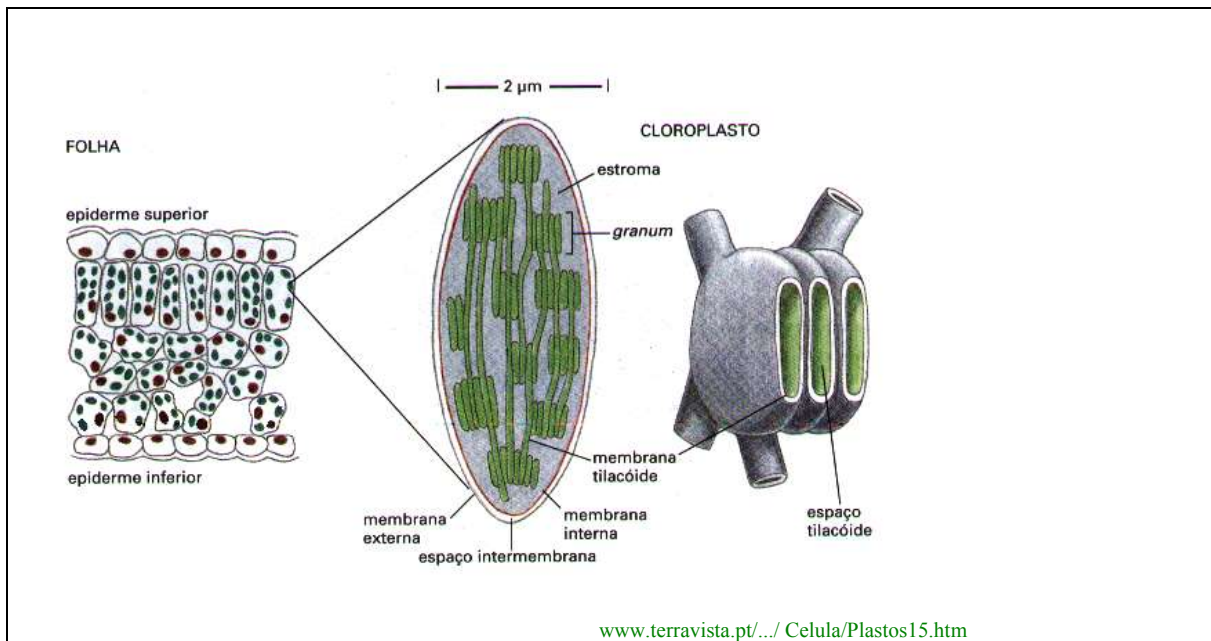


Figura 9. Esquema de a estrutura y ultraestructura de cloroplastos.

La función fundamental de los cloroplastos es la fotosíntesis, por medio de la cual la clorofila es capaz de absorber la energía de la luz solar y transformarla en energía química, la que se acumula en uniones químicas producidas por la síntesis de muchas sustancias alimenticias. Esta conversión requiere la síntesis de hidratos de carbono a partir de dióxido de carbono (CO_2), que se encuentra en la atmósfera, y agua. En el curso general de la fotosíntesis a través de varios procesos, las moléculas de CO_2 se combinan con hidrógeno para producir una molécula de glucosa: ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)

El interior de los cloroplastos es el lugar de síntesis de ácidos grasos.

Ribosomas

Son organoides visibles únicamente al microscopio electrónico compuestos por ARN_r , y proteínas. Fisiológicamente juegan un rol importante en la síntesis de proteínas y como tal, constituyen un componente generalizado de todas las células.

Estructura y ultraestructura

Se observan como partículas esféricas de 230 Å de diámetro, en un número variable dependiendo del tipo celular. Se les encuentran libres dentro del citoplasma o unidos a la membrana del retículo endoplasmático. En organoides como mitocondrias y cloroplastos se encuentran ribosomas más pequeños que los citoplasmáticos. Los ribosomas están constituidos por dos sub-unidades de forma globular unidas entre sí. Pueden hallarse subunidades aisladas o varios ribosomas unidos a una molécula de ARN_m , mientras se está sintetizando proteínas, constituyendo agrupaciones denominadas polisomas o polirribosomas. Figura 10.

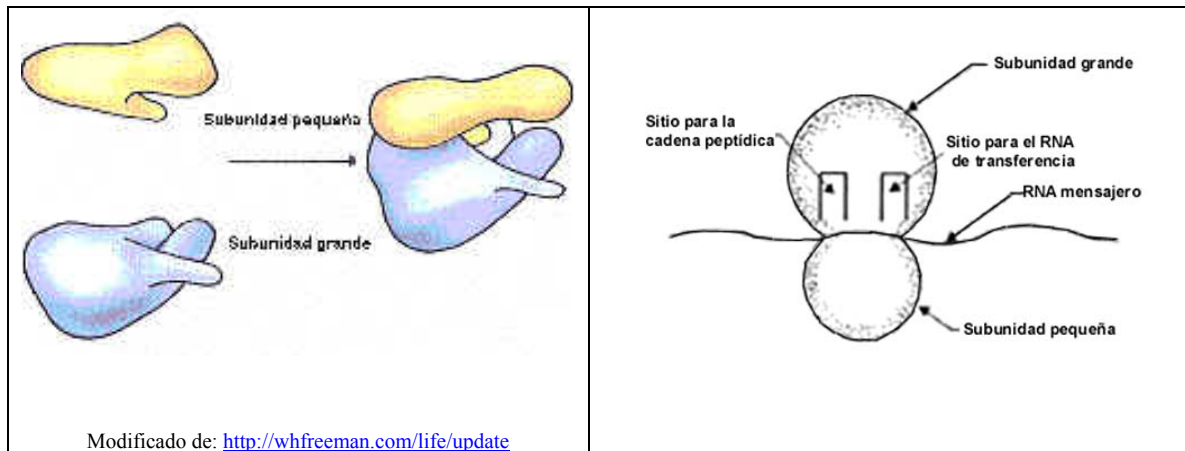


Figura 10. Esquema de un ribosoma y sus subunidades

Los ribosomas son orgánulos que participan en la síntesis de proteínas como maquinaria lectoras del ARNm, capaces de unir aminoácidos y formar cadenas proteicas. Sólo los ribosomas agrupados en polisomas sintetizan proteínas, los ribosomas dispersos en el citoplasma son inactivos.

Sustancias ergásticas

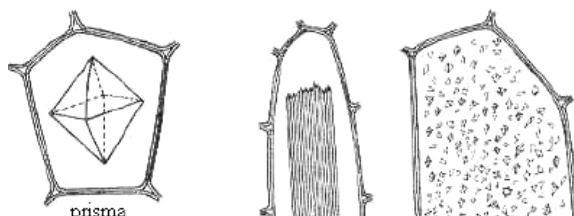
Corresponden a acumulaciones de ciertas sustancias insolubles no protoplasmáticas resultantes del metabolismo celular. Son sustancias inestables ya que pueden formarse o reabsorberse en períodos diferentes de la vida de la célula. Estas materias ergásticas se pueden presentar sobre la membrana plasmática, en la matriz citoplasmática, en el interior de organoides y en las vacuolas, pudiendo asociarse con los componentes protoplasmáticos de la célula. Pueden representar materiales de reserva que se usarán más tarde como fuente de energía, desechos metabólicos o bien estructuras de apoyo que confieren el "cuerpo" a células.

Las sustancias ergásticas pueden corresponder a compuestos orgánicos, o bien, a sustancias minerales (Figura 11) normalmente cristalizadas, pues las plantas son incapaces de eliminar sus desechos.

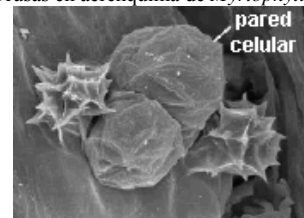
Los principales compuestos orgánicos son:

- Hidratos de Carbono: almidón, celulosa, hemicelulosa, inulina, glicógeno, sustancias pécticas (estructura de la lámina media de la pared celular), mucílagos (equilibrio acuoso), gomas (productos de desecho y reacción citoplasmática antitraumas).

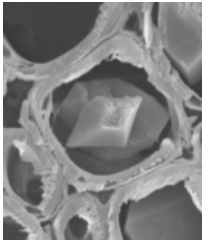
Cristales de oxalato de calcio



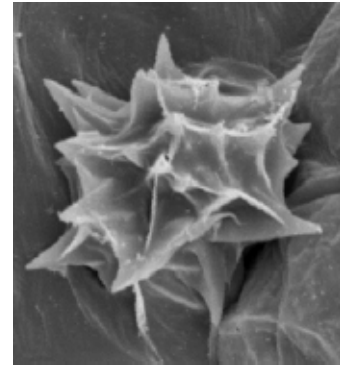
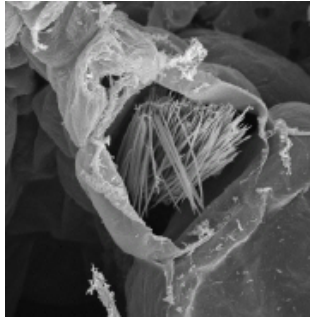
Cristales con MEB
Drusas en aerénquima de *Myriophyllum*



Cristal prismático en *Turnera*



Rafidios en *Eichhornia*



Estiloide en *Eichhornia*

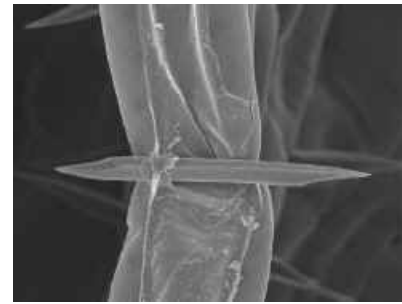


Figura 11. Algunos tipos de cristales.

- Lípidos: Glicéridos (reserva alimenticia de muchas plantas, frutos y semillas); cutina (protección epidermal), suberina y ceras.

- Proteínas: pueden encontrarse en forma sólida constituyendo reservas alimenticias de semillas, raíces, tubérculos y bulbos o, formando una masa proteica amorfa conocida como gluten, que se encuentra en el endosperma del trigo combinado con el almidón. Proteínas amorfas y cristaloides se combinan en los granos de aleurona, cuerpos ergásticos que se encuentran en el endosperma, perisperma y embrión de muchas semillas.

- Pigmentos: antoxatinas, antocianinas. Los primeros son prácticamente incoloros, por lo que no dan color a los tejidos que los poseen. Sin embargo, con las sales de potasio dan colores amarillos, con soluciones de cloruro férrico dan un color verde opaco o café rojizo.

Las antocianinas son de colores rojo, violeta y azul, los que se presentan normalmente en solución en el jugo vacuolar de flores, muchos frutos y algunos tallos y hojas. Las antocianinas son en gran parte responsables de los colores otoñales de las hojas y de las yemas coloreadas de brotes.

Las funciones de los pigmentos colorantes son proteger a la planta de la radiación solar y permitir la atracción de insectos y pájaros en la polinización de las flores y en la diseminación de frutos.

- Alcaloide: diversos productos que normalmente no son ni reservas alimenticias ni constituye estructuras.

Núcleo

El núcleo constituye el depósito de casi toda la información genética de la célula, es el compartimiento donde se haya el ADN aislado de la actividad citoplasmática. Es el centro de control de la actividad celular (cada una de las funciones de control se basan en los ácidos nucleicos, ADN y ARN) y produce los precursores ribosomales, base de la síntesis proteica.

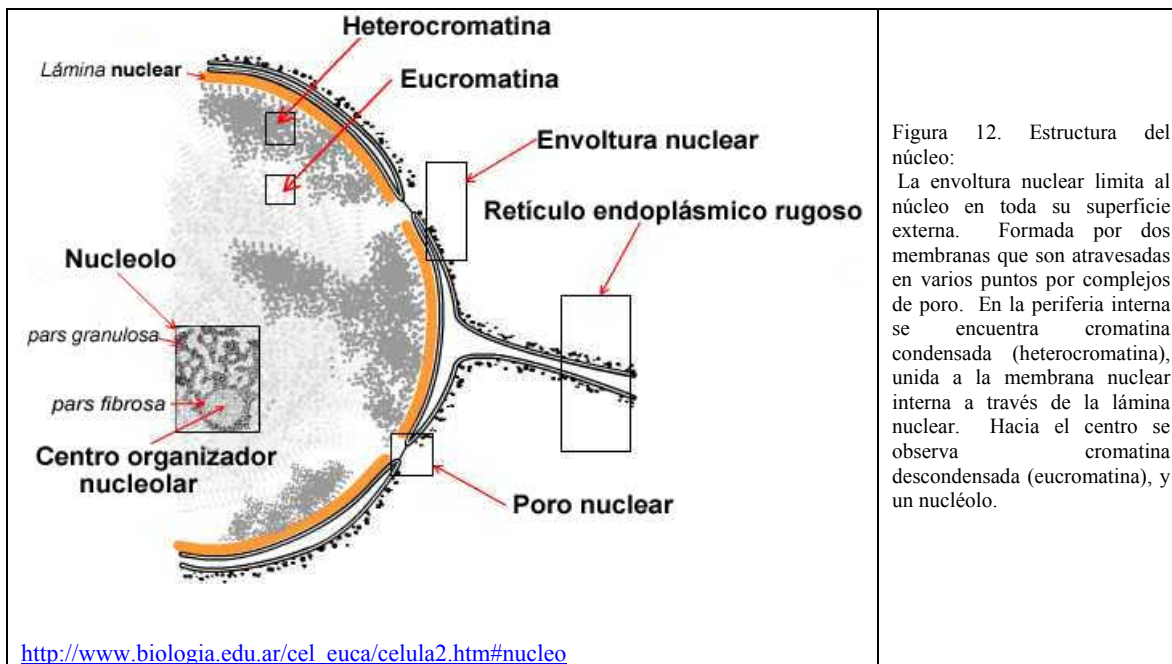
En el núcleo ocurre la síntesis de ARN (transcripción) a partir del ADN y el procesamiento del ARN. Los transcritos de ARN en el núcleo se empaquetan inmediatamente en complejos ribonucleoprotéicos y son sometidos al proceso de maduración del ARN, una vez finalizada la maduración el ARN es transportado desde el núcleo al citosol donde los ribosomas empiezan a traducir el ARN en proteínas.

Ninguna célula eucariótica es capaz de sobrevivir mucho tiempo sin núcleo, tal vez la única excepción son los elementos cribosos (elementos celulares del floema) donde existe un contacto estrecho con las células acompañantes, cuyos núcleos se hacen cargo de las funciones de control de los miembros cribosos.

El diámetro del núcleo celular en plantas es extremadamente variable. Va desde menos de 0.5 μm hasta 600 μm en células embrionarias de cicadáceas y coníferas. En células vegetales embrionarias, el núcleo es relativamente voluminoso. El tamaño del núcleo varía en células que experimentan modificaciones en su complejo cromosómico, por ejemplo su tamaño se incrementa en casos de poliploidia, en que las células tiene más de dos juegos haploides de cromosomas. Este tipo de modificaciones es común en las Magnoliophyta (plantas con flores).

La posición del núcleo es variable, puede ocupar una posición central o estar desplazado por la presencia de inclusiones o una gran vacuola, esto último es característico de las células parenquimáticas adultas.

Al microscopio, este organoide aparece como un cuerpo refringente incluido en el citoplasma y separado de éste por una membrana nuclear característica; en el núcleo podemos distinguir los siguientes componentes estructurales: membrana nuclear o carioteca; cromatina; uno o más nucléolos y nucleoplasma. Figura 12.



Membrana nuclear, envoltura nuclear o carioteca

La membrana nuclear está formada por dos membranas, la externa y la interna, entre ambas se encuentra un espacio perinuclear de 100 a 150 Å. La membrana externa presenta ribosomas adheridos a la superficie externa de ella y se continúa con la membrana del RE en el citoplasma, y el espacio perinuclear es continuo con el lumen del RE. La membrana nuclear interna presenta en su cara interna un material denso, asociado a ella, está la lámina fibrosa o lámina nuclear, formada por redes de filamentos intermedios (proteicos), que separa a la cromatina de la envoltura nuclear. Se cree que da forma y estabilidad a la envoltura nuclear.

Estas membranas están perforadas a intervalos por poros, responsables del pasaje selectivo de materiales hacia dentro y fuera del núcleo. El número de poros es variable, en ciertas células vegetales la superficie ocupada por los poros abarca el 20% y hasta el 36%.

Cromatina

Es la expresión interfásica de los cromosomas, corresponde a filamentos de grosor variable entre 100 y 400 Å, demasiado finos para su visualización al microscopio óptico, sin embargo, es posible observar el conjunto de ellos en el interior del núcleo, especialmente las zonas en donde estos filamentos están más condensados.

La cromatina de células en interfase se observa, al microscopio óptico, como zonas claras o dispersas y zonas de mayor condensación dentro del nucleoplasma. Estas zonas constituyen la llamada eucromatina y heterocromatina respectivamente.

El ADN, macromolécula que forma parte de la cromatina, es el componente genético de la célula, el cual porta la información codificada de una célula a otra y de un organismo a otro.

La heterocromatina corresponde a zonas de cromosomas que permanecen condensados durante la interfase y la profase temprana del ciclo celular, formando los cromocentros o falsos nucléolos.

Nucleolos

Los núcleos interfásicos pueden contener uno o más nucléolos, que se originan a partir de segmentos de cromosomas denominados **organizadores nucleolares**, que contienen genes repetidos y dispuestos en hilera para codificar los ARN ribosómicos. El número de nucléolos es característico para una especie al igual que el número de cromosomas.

El nucléolo es una estructura temporal, expresión morfológica de la transcripción del ARN_r. Su presencia y actividad van estrechamente unidas a la necesidad de ribosomas en la célula y, por lo tanto, a la fabricación de proteínas.

Nucleoplasma

Con exclusión de los nucléolos y la cromatina el resto de los componentes moleculares inmersos en el espacio nuclear, constituyen el nucleoplasma, también llamado carioplasma o jugo nuclear. Constituye una fase acuosa que contiene principalmente proteínas, principalmente enzimas relacionadas con el metabolismo de los ácidos nucleicos. Hay además cofactores, moléculas precursoras y minerales. Se encuentran también ribonucleoproteínas que forman estructuras como gránulos pericromatínicos e intercromatínicos y fibras pericromatínicas.

1.4 Reproducción celular

La sobrevivencia y el desarrollo de los organismos en general dependen de la capacidad de reproducción de sus células. La gran mayoría lo realiza por el proceso de mitosis, que significa la repartición equitativa del material nuclear, obteniéndose como resultado dos células, cada una de ellas idéntica a la célula parental, el proceso se describe mejor en relación con el ciclo celular.

Ciclo celular

Hace alrededor de 40 años atrás, el énfasis en el estudio de la reproducción se hacía sobre el proceso de repartición del material nuclear, en especial de la mitosis de eucariontes. El resto del ciclo celular se consideraba como un período de reposo divisional, enmarcándose en el período de interfase.

Con el desarrollo de técnicas nuevas como la marcación de moléculas con precursores radioactivos, se dio importancia al estudio de la síntesis del material de la herencia. El descubrimiento de los investigadores Watson y Crick en 1953 permitió comprender la compleja organización molecular y los mecanismos de duplicación del ADN.

La división del material nuclear requiere como condición la duplicación del ADN, molécula portadora de la información genética. Esta duplicación del ADN se lleva a cabo durante un período preciso de la interfase. Al estudiar células en división continua y con cierta velocidad, es posible encontrar que el período de síntesis de ADN no ocupa la interfase completa, sino sólo parte de ella. De este modo, el ciclo celular completo consta de 4 etapas (Figura 13):

- a) **Período G₁**, una etapa de post-mitosis o prereplicativa.
- b) **Período S**, de duplicación de la información genética nuclear o síntesis de ADN, llamada también período replicativo.

- c) **Período G₂**, o etapa post replicativa del ADN y previa a la Mitosis.
- d) **Etapa mitótica** o de repartición de la información genética simbolizada como M.

G₁ = Intervalo entre la mitosis y la duplicación del ADN, en este período la célula crece, forma membranas y organoides. En esta etapa la célula puede retirarse del ciclo celular para diferenciarse permaneciendo en G₀. Las células en este estado pueden revertir y volver al ciclo celular para posteriormente dividirse. G₀ corresponde a un estado de reposo proliferativo y D_i a un estado de diferenciación irreversible.

S = Período de síntesis o replicación del ADN.

G₂ = Intervalo entre la terminación de la replicación del ADN y comienzo de M.

M = Mitosis

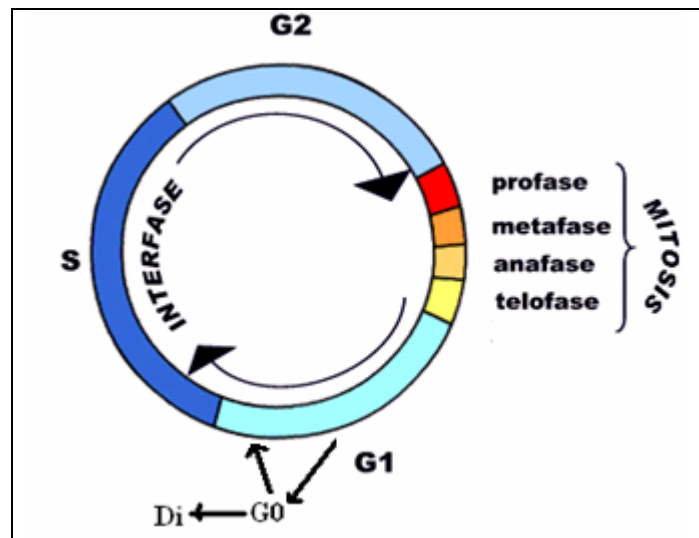


Figura 13. Ciclo celular.

Replicación del ADN

El mecanismo de replicación o autoduplicación del ADN comprende el desenrollamiento de las dos cadenas de polinucleótidos seguido de la copia de las dos cadenas complementarias, de modo que cada cadena original sirve de molde para cada nueva cadena.

En un ciclo celular normal, el ADN se duplica una sola vez en su totalidad. La replicación del ADN se caracteriza por ser: a) semiconservativa b) bidireccional y c) discontinuo.

Todo este proceso se caracteriza por su fidelidad en las copias de las cadenas complementarias lo que da la estabilidad al material genético, sin embargo, también es susceptible de sufrir modificaciones, este es el origen de las variaciones hereditarias o **mutaciones**. La mutación de un gen puede ocurrir espontáneamente o puede ser resultado de la acción de radiaciones ionizantes, drogas, u otro factor que alteran la molécula de ADN.

Al ADN que puede haber sido afectado también tiene la capacidad de ser restaurado por mecanismos moleculares que permiten reparar las alteraciones producidas en la molécula de ADN. Ejemplo: en bacterias expuestas a la luz ultravioleta.

Divisiones celulares

La generalidad de los organismos con reproducción sexual, presentan dos tipos de divisiones. Un tipo que permite el crecimiento y el aumento de tamaño de los tejidos, que corresponde a una división celular donde se mantiene el genoma completo, se denomina **mitosis**, la cual también permite la reproducción en organismos unicelulares. El otro proceso divisional es el de la **meiosis**, el cual es reduccional, ya que la dotación cromosómica se reduce a la mitad y tiene además la característica de permitir la variabilidad genética.

La división celular es un proceso complejo con el cual culmina un ciclo celular. El material nuclear después de duplicado durante el período S de la interfase, se condensa y comienza a hacerse visible microscópicamente en forma de cuerpos coloreados, los cromosomas, los cuales son elementos básicos de la división celular.

Cromosomas

La morfología de los cromosomas se estudia mejor durante la división celular, en las etapas de metafase y anafase cuando la condensación es máxima, de modo que estos cuerpos se ven como estructuras cilíndricas que se tiñen intensamente con los colorantes básicos y el método de Feulgen.

En relación a las características morfológicas de los cromosomas metafásicos y a su número, es posible conocer el cariotipo de una célula, este corresponde al número, forma y tipo de cromosomas característicos de una especie. Su determinación es de gran importancia en el campo de la Citotaxonomía, el uso de los caracteres localizados en los cromosomas permite resolver los problemas sistemáticos de muchas especies.

Por lo general, los organismos presentan un complejo cromosómico diploide ($2n$) que resulta de la unión de dos gametos, cada uno con un complejo cromosómico haploide (n). Por ejemplo, el número diploide de cromosomas del pino amarillo o Pinus ponderosa, es de 24 cromosomas en sus células somáticas, en Eucalyptus sp. es de 22.

La presencia de más de dos sets haploides de cromosomas se denomina poliploidia, y es bastante frecuente en el reino Planta.

Estructura y ultraestructura

En el entendido que los cromosomas corresponden al mismo material cromatínico nuclear, formado por ADN e histonas y que durante el ciclo celular en el período S de la Interfase este material se autoduplica, en el intervalo G_2 del ciclo celular cada cromosoma consta de dos filamentos idénticos, enrollados en espiral llamados cromátidas, unidas por el centrómero, cuyo diámetro varía según el estado o fase del ciclo. Las dos cromátidas hermanas tienen idénticos conjuntos de genes como resultado de la duplicación. En el momento de la división, cada cromosoma se enrolla formando un espiral, el material cromatínico se condensa, en consecuencia surge un acortamiento y se hace más visible al microscopio óptico. El aspecto de bastoncillo macizo que presenta el cromosoma, es el resultado de una doble espiralización en que disminuye la longitud aparente de la cromátida, mientras que su diámetro aparente aumenta. Figura 14.

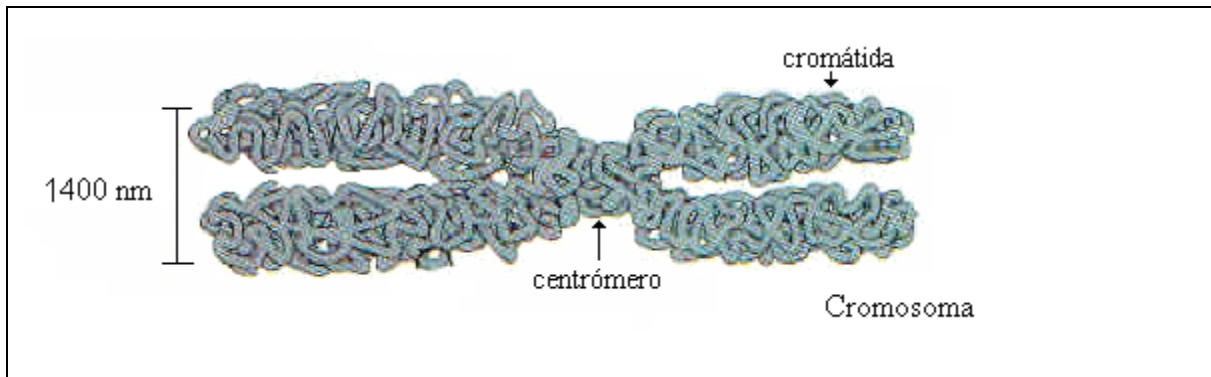


Figura 14. Esquema de un cromosoma metafásico visto con MEB

Mitosis

El proceso de división mitótica, en cada célula se caracteriza por la presencia de dos componentes fundamentales que constituyen la figura mitótica, el **aparato cromático** y el **aparato acromático**. El aparato cromático incluye los cromosomas y los nucléolos. El aparato acromático está formado por el huso, conjunto de fibras (microtúbulos) relacionados con los movimientos de los cromosomas en la mitosis.

Etapas de la mitosis

Es tan grande el número de cambios que ocurren al mismo tiempo que la descripción se dificulta, por este motivo, se ha separado en las siguientes etapas: Profase – Metafase – Anafase – Telofase (Figura 15).

- a) **Profase:** Se producen cambios en el estado fisicoquímico del citoplasma: hay menor viscosidad nuclear debido al paso de agua desde el citoplasma, lo que determina que aumente el volumen nuclear. La célula tiende a adoptar forma esférica. Los cromosomas se presentan como delgados filamentos espiralados y se encuentran duplicados desde la etapa S de la interfase. El nucléolo adopta una posición central.

En la profase tardía se observa desintegración y desaparición de la membrana nuclear y de los nucléolos. Se sigue formando el huso mitótico o acromático. Los cromosomas empiezan a migrar hacia el plano ecuatorial de la célula.

- b) **Metafase:** se inicia cuando los cromosomas alcanzan el plano del ecuador, estos se distribuyen irregularmente y ocupan toda la superficie del plano ecuatorial del huso. La disposición de los cromosomas en el huso recibe el nombre de placa ecuatorial. En esta etapa los cromosomas están vinculados con las fibras del huso por medio de los centrómeros, las fibras del huso que se conectan con los cromosomas toman el nombre de **fibras cromosómicas** y las que se extienden sin interrupción de un polo al otro se llaman **fibras continuas**.

- c) **Anafase:** los centrómeros hijos y las cromátidas se separan, comenzando su traslado hacia los polos, uno de cada par de las cromátidas hijas se mueve hacia el polo opuesto. Durante la mitad final de la anafase ocurre un cambio en el aspecto de huso. En la zona ubicada entre los dos grupos de cromosomas las fibras se observan paralelas entre si y parecen extenderse constituyendo las **fibras interzonales**. Las cromosómicas se acortan y las

continuas desaparecen. En células vegetales se forma el fragmoplasto a nivel de la zona ecuatorial.

- d) **Telofase:** cuando los cromosomas llegan a los polos forman un grupo compacto y se reintegra la membrana nuclear. Los cromosomas revierten su enrollamiento y presentan un aspecto más largo y difuso. En los estados finales reaparecen los nucléolos a partir de los organizadores nucleolares. Desaparecen las fibras cromosómicas, manteniéndose las interzonales en el plano ecuatorial.

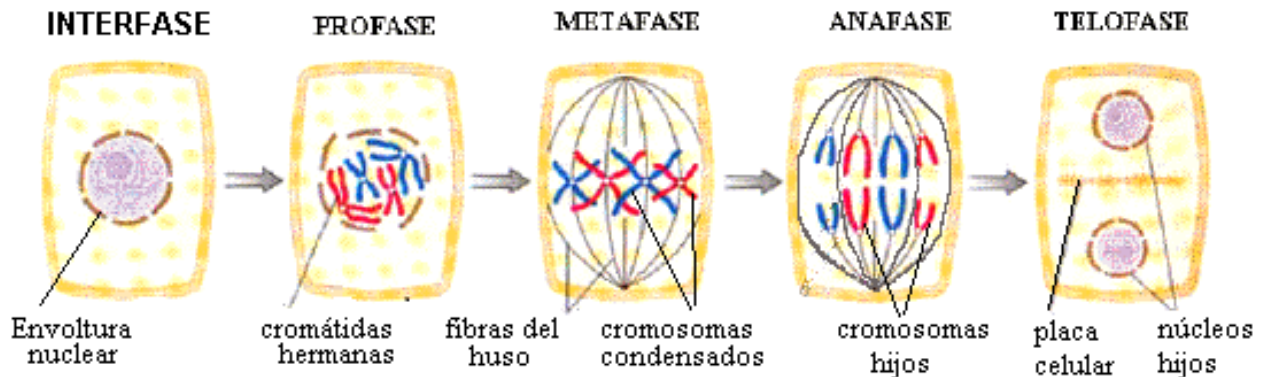


Figura 15. Etapas de la mitosis.

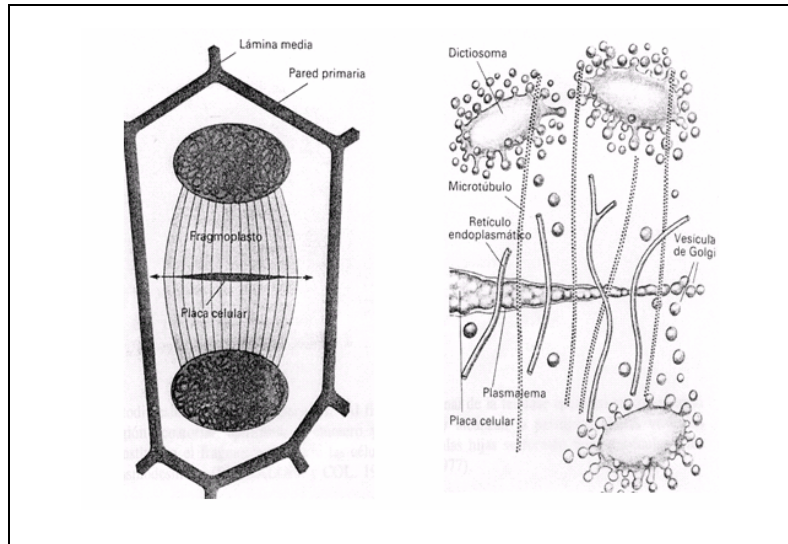
División citoplasmática o citocinesis

Generalmente acompaña a la mitosis y puede comenzar en la anafase, continuar con la telofase inicial y al final de la telofase ya están perfectamente separadas las dos células hijas. En células vegetales por la rigidez de la pared celular, la división del citoplasma se realiza formándose a nivel del plano ecuatorial el fragmoplasto.

A medida que los cromosomas se aproximan a los polos cambian las fibras continuas del huso. En la región de la placa ecuatorial llegan a ser cada vez más densas y tiene un aspecto más fibroso, aparecen pequeñas gotitas o cuerpos granulares de consistencia semilíquida, estos emigran al fragmoplasto, en donde se fusionan para formar la placa celular. Estas vesículas son productos de los cuerpos de Golgi. En la vecindad de la nueva placa celular en formación, se juntan también elementos del retículo endoplasmático, vesículas y componentes microtubulares. Estos elementos coalescen para formar la nueva membrana plasmática.

Después el fragmoplasto se extiende hacia las paredes laterales de la célula. La fusión de gotitas adicionales a la placa celular amplía la placa hasta llegar a contactar con las paredes existentes. La placa celular integra la lámina sobre la cual se construyen las nuevas paredes primarias. Figura 16.

Figura 16.
Formación del fragmolasto



1.5 Histología vegetal

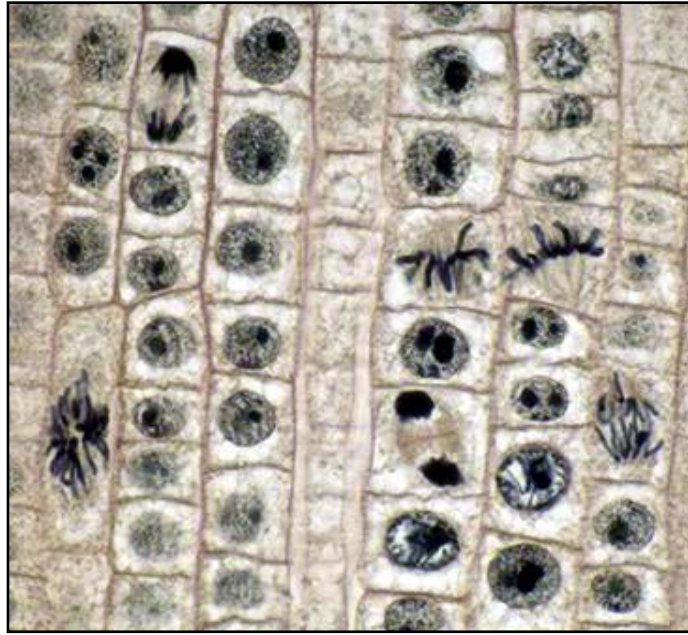
En las plantas vasculares, la transformación del cigoto unicelular en una planta adulta implica: división, crecimiento y diferenciación de las células embrionarias, las que se agruparán en tejidos; los que a su vez podrán constituir sistemas de tejidos.

El embrión, dentro de la semilla, está formado por un eje embrionario y uno o más cotiledones. Las células y tejidos de éste, se diferencian y maduran paulatinamente en el tiempo a medida que la plántula crece, no obstante, persiste tejido embrionario en ambos extremos del eje, constituyendo los meristemos apicales: de brote y de raíz, respectivamente, los que se mantendrán durante toda la vida del vegetal para producir el crecimiento primario.

El meristemo apical de brote se ubica en el extremo terminal del tallo, mientras que el de raíz tiene una posición subterminal, protegido por la caliptra o cofia.

Las células que forman el tejido meristemático, generalmente son pequeñas, se caracterizan por presentar un núcleo relativamente grande. Tienen pared primaria de poco espesor, y su forma es isodiamétrica. Carecen generalmente de sustancias ergásticas y sus plastidios están en forma de proplastidios, tienen escaso retículo endoplasmático y abundantes ribosomas libres. Figura 17.

Figura 17. Células meristemáticas en división mitótica.



De estas células meristemáticas derivan todos los otros tejidos, los que por su función se agrupan en los siguientes sistemas:

- Sistema dermal, incluye los tejidos que cubren el cuerpo del vegetal: epidermis y peridermis.
- Sistema fundamental, incluye aquellos tejidos que le dan cuerpo, soporte y resistencia: tejido parenquimático, colenquimático y esclerenquimático.
- Sistema vascular, agrupa a los tejidos que transportan agua, sales minerales, el xilema y, sustancias elaboradas, el floema.

Epidermis

Se denomina epidermis a la capa de células más externa del cuerpo primario de los vegetales. No se encuentra diferenciada en los meristemos apicales y se considera ausente en la caliptra. En tallos y raíces con crecimiento secundario, la epidermis tiene una longevidad variable, siendo sustituida posteriormente por la peridermis.

Las células epidérmicas, son células vivas de paredes primarias delgadas, su citoplasma puede contener gran cantidad de sustancias ergásticas (pigmentos, taninos, aceites, cristales), y excepcionalmente presentar cloroplastos. Tienen gran facilidad para dividirse, ya sea en respuesta a estímulos químicos, heridas, o como proceso normal para la formación de tejidos. Generalmente se disponen en una capa continua, monoestratificada, sin espacios intercelulares. Excepto en raíces y porciones sumergidas de plantas acuáticas, la pared tangencial externa de las células epidérmicas presenta una capa cerosa de cutina, de grosor variable y cuya función es restringir la pérdida de agua. Figura 18.

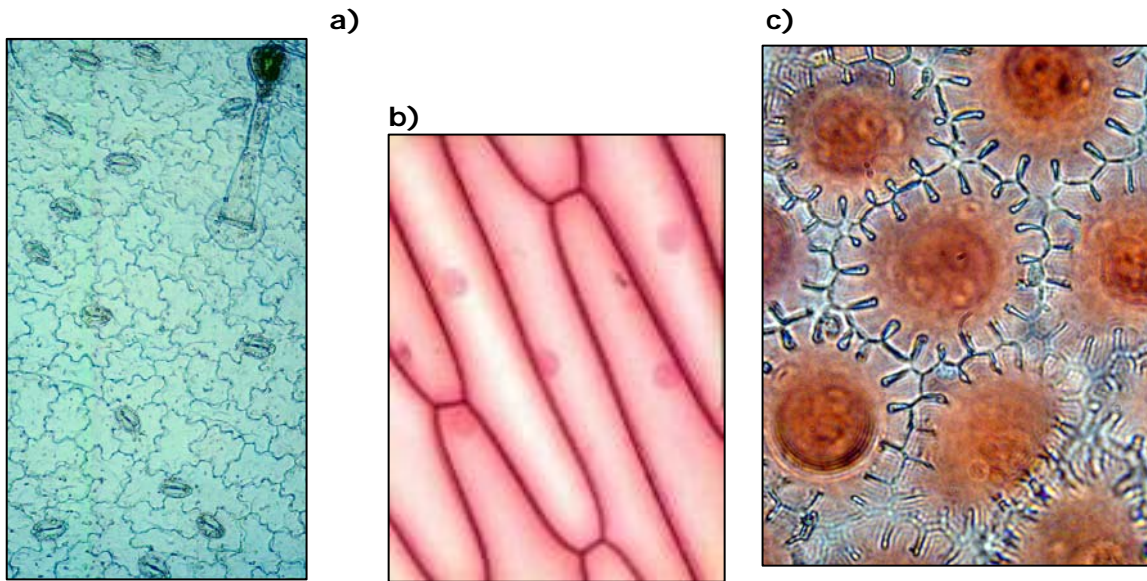


Figura 18. Diferentes tipos de células epidermales: a) epidermis de Magnoliopsida. b) epidermis de Liliopsida. c) epidermis de pétalo de *Geranium sp.*

Debido a su estrecho contacto con el medio externo, este tejido exhibe una importante variabilidad estructural y fisiológica en sus células para cumplir funciones como: protección, limitación de la transpiración, intercambio de gases, almacenamiento de sustancias, secreción y absorción.

La diversidad morfofuncional de las células epidermales permite reconocer los siguientes tipos celulares:

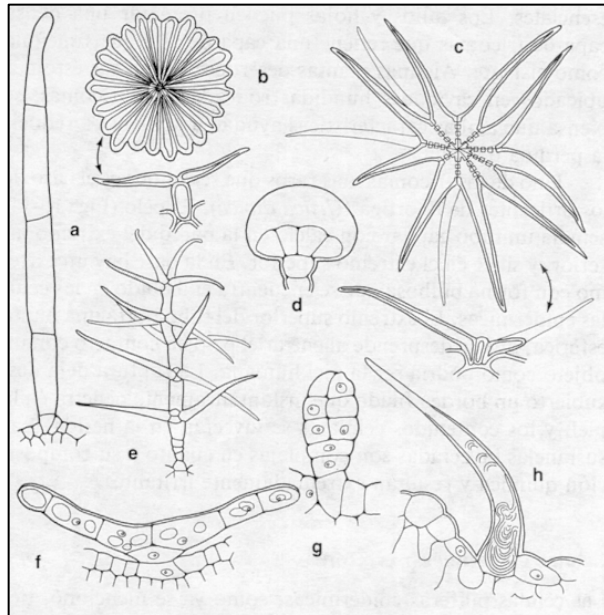
TRICOMAS: apéndices epidérmicos de diversas formas y estructuras. Entre ellos se consideran: pelos, escamas, colectores. Figura 19.

Pelos: apéndices constituidos por un **pie**, porción que descansa en la epidermis y el **cuerpo**, parte que se extiende fuera de ella y que puede ser uni o pluricelular, simples o ramificados.

Escamas: es un grupo de células dispuestas en forma de disco, generalmente situadas en una emergencia o pie muy corto. Se origina de una célula inicial que se divide longitudinal y oblicuamente.

Colectores: son tricomas de tipo glandular que se encuentran principalmente en hojas, escamas de yemas, estípulas. Consisten en un pie corto, generalmente multicelular que sostiene un disco expandido de células secretoras.

Figura 19. Diferentes tipos de tricomas:
a-e) pelos; b-c) escamas;
d-g) colectores. (Fahn)



VESÍCULAS DE AGUA: son células epidermales muy distendidas que presumiblemente constituyen reservorio de agua. Son modificaciones de planta xeromórficas.

PELOS RADICALES: modificaciones propias de las raíces con crecimiento primario, son estructuras normalmente unicelulares, tubulares, de corta vida, muy vacuoladas y de paredes primarias delgadas.

ESTOMAS: se denomina así al conjunto formado por dos células ocluidoras de forma arriñonada y al poro u ostiolo que ellas rodean. Esta abertura comunica a un espacio intercelular bajo él, llamado cámara subestomática la que se continua con los espacios intercelulares del tejido subyacente. Las células ocluidoras presentan cloroplastos y sus paredes tienen desigual espesor, son delgadas en la porción alejada del poro, gruesas y rígidas frente a él. Los cambios de turgencia de estas células determinarán la abertura o cierre del estoma.

CELULAS BULIFORMES: son células de mayor tamaño que las típicas epidermales, alargadas hacia el mesófilo, responsables de la expansión lateral de las hojas en maduración, o maduras.

HIDATODO: su estructura es similar a los estomas pero sin la capacidad de regular su abertura. Se ubican en los extremos de las hojas y permiten evacuar el exceso de agua, este tipo de estoma es característico de las hojas de sauces ("Sauce llorón"), por la pérdida de agua no regulada.

PARENQUIMA - COLENQUIMA - ESCLERENQUIMA

Forman el cuerpo del vegetal, el tejido fundamental que cumple con funciones de soporte, resistencia y todas las funciones metabólicas indispensables para la vida del vegetal. Su componente más importante es el tejido parenquimático, encargado de realizar diversas funciones metabólicas y de almacenar diferentes sustancias. Luego está el colénquima, tejido vegetal cuya principal función es dar resistencia mecánica al cuerpo primario de la planta. Finalmente, el tejido

esclerenquimático, formado por células muertas, de gruesas paredes secundarias, constituye estructuras de sostén más especializadas que el colénquima.

Tejido parenquimático: sus células relativamente poco especializadas, pueden encontrarse formando parte de la corteza y médula de tallos y raíces, mesófilo de las hojas, pulpa de frutos suculentos, endosperma de semillas, etc. También pueden estar asociadas al sistema vascular. Normalmente, son poco diferenciadas, no especializadas y simples, capaces por lo tanto de revertir su desarrollo y recuperar su carácter meristemático. Tienen pared primaria relativamente delgada, generalmente son isodiamétricas y dejan poco espacio entre ellas.

Según la actividad en que estén especializadas las células parenquimáticas pueden clasificarse como: parénquima fotosintético o clorénquima, parénquima esponjoso o aerénquima, parénquima reservante, parénquima de transporte, parénquima de resistencia.

Figura 20.

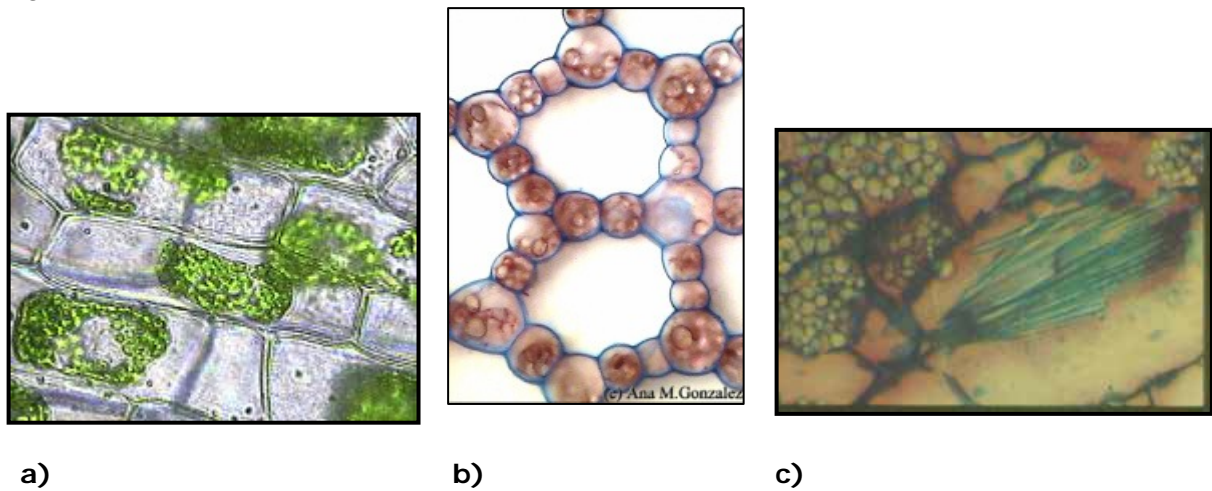


Figura 20. a) Clorénquima; b) aerénquima; c) parénquima reservante.

Tejido colenquimático: tejido vegetal simple, formado por células vivas, alargadas, de paredes primarias irregularmente engrosadas. Presentan un alto grado de extensibilidad pues sus paredes no se lignifican. Su función fundamental es servir como tejido de sostén de los órganos en crecimiento debido a la resistencia y extensibilidad de sus paredes.

Las células colenquimáticas pueden presentarse formando cordones o un cilindro completo en el tallo, bajo la epidermis o en la corteza; rodeando parcial o totalmente los haces vasculares en tallos y en hojas; en frutos inmaduros, es raro en raíces.

En base a la forma de depositación del engrosamiento de la pared primaria en las células colenquimáticas, se distinguen los siguientes tipos: colénquima angular, colénquima laminar y colénquima lacunar. Figura 21.

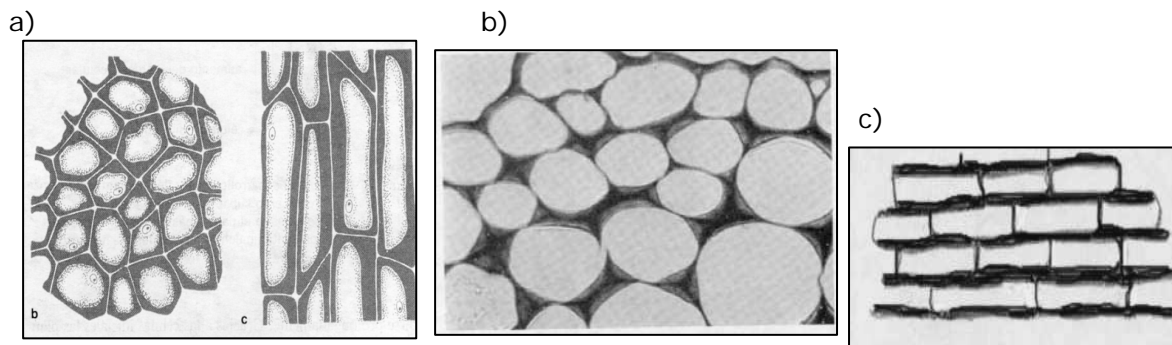


Figura 21. a) colénquima lacunar; b) colénquima angular; c) colénquima laminar

Tejido esclerenquimático: se caracteriza por estar formado por células de paredes secundarias gruesas, a menudo lignificadas y carentes de protoplasma vivo. Representan el tejido de sostén, proporcionando resistencia mecánica a la tracción, presión, o cualquier fuerza externa que afecte a los diversos órganos de la planta, evitando así, el daño a las células de paredes delgadas y con protoplasma vivo. Se distinguen dos tipos celulares: fibras y esclereidas. Figura 22.

Fibras: de longitud variable, son células típicamente alargadas, de extremos puntiagudos y lumen estrecho por el grosor de sus paredes secundarias. Generalmente presentan puntuaciones simples, nunca ramificadas. Asociadas con diferentes tejidos, pueden presentarse en raíces, tallos, hojas y frutos, etc.

Esclereidas: células de gran dureza, normalmente lignificadas, con abundantes puntuaciones ramificadas. Aunque en ellas se registra un gran polimorfismo, su forma es más isodiamétrica que las fibras, pudiéndose presentar aisladas o en grupos. Se encuentran en pulpa de frutos, testa de semillas, paredes de frutos secos, en la corteza de los tallos, mesófilo de hojas, etc.

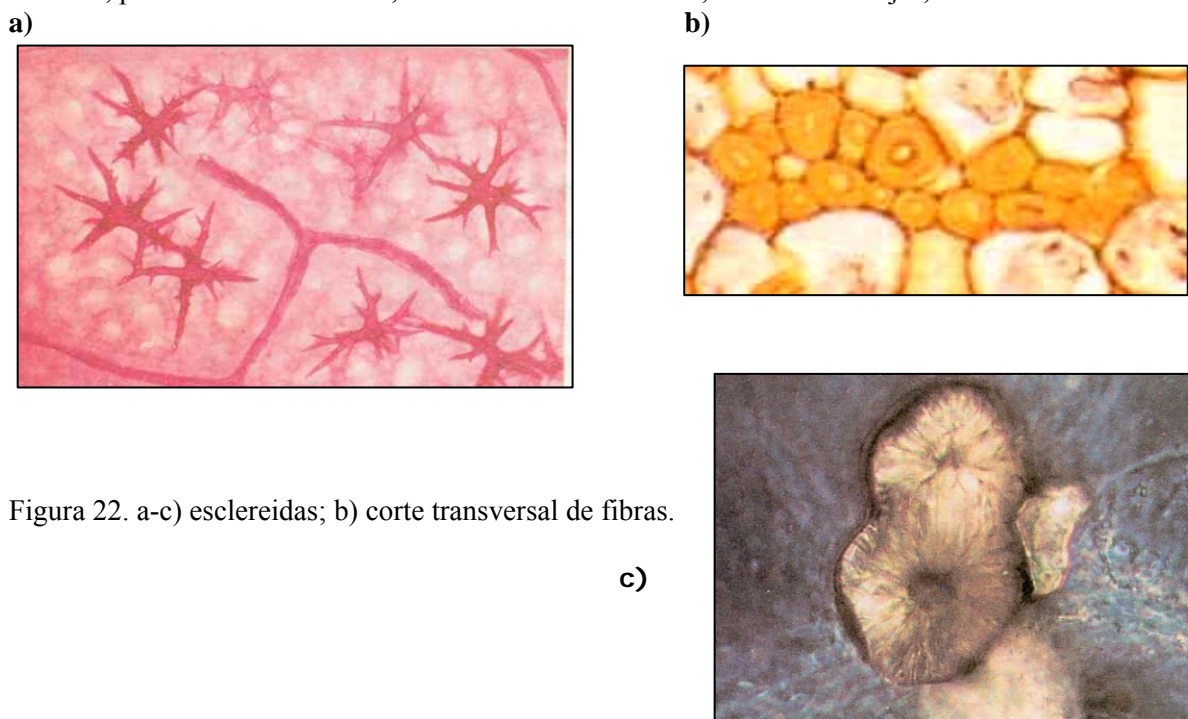


Figura 22. a-c) esclereidas; b) corte transversal de fibras.

Tejido vascular primario

El sistema vascular de las plantas se compone de un sistema conductor de agua y sales minerales denominado **xilema** y, un sistema conductor de sustancias elaboradas llamado **floema**.

XILEMA: en él es posible encontrar los siguientes elementos: traqueidas, vasos, fibras, células parenquimáticas, esclereidas y canales de secreción.

Traqueidas: son células alargadas, de extremos redondeados e imperforados. Muertas en su madurez, tienen gruesas paredes con depositaciones de pared secundaria de los tipos: anillado, helicoidal, reticulado, escaleriforme y punteado. Figura 23. Están unidas tangencialmente permitiendo el intercambio de agua a través de la pared primaria o sus puntuaciones.

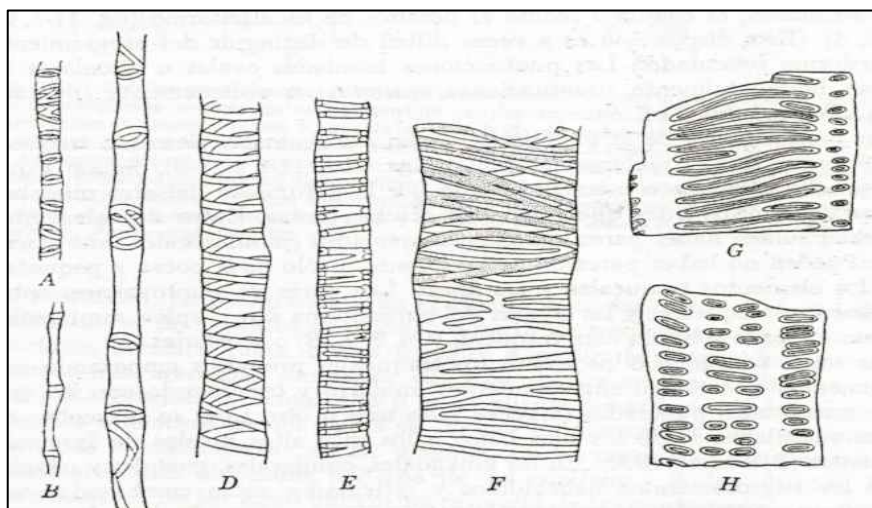


Figura 23. Formas de depositación de pared secundaria en los elementos del xilema: A-B: anular; D-E helicoidal; F reticulada; G-H punteada. (Esau)

Vasos: formados por un conjunto de miembros de vasos, unidos vertical y lateralmente por perforaciones, constituyen una estructura alargada, con depositaciones de pared secundaria lignificada y donde cada miembro carece de citoplasma y núcleo. Figura 24.

Las depositaciones de pared secundaria, características para cada tipo, determinan la formación de vasos con engrosamientos anulares (en forma de anillo), espiralados (en forma de espiral), escaleriformes (en forma de escalera), reticulados (en forma de red), y punteada; éstos últimos presentan puntuaciones que pueden tener una disposición alterna u opuesta.

Fibras: cumplen funciones de resistencia y favorecen el transporte de agua. Figura 24.

Células parenquimáticas: en el xilema primario tienen disposición axial. Son células alargadas, pequeñas, vivas, pudiendo en algunos casos depositar pared secundaria. Colaboran directamente en el transporte de agua y sales minerales.

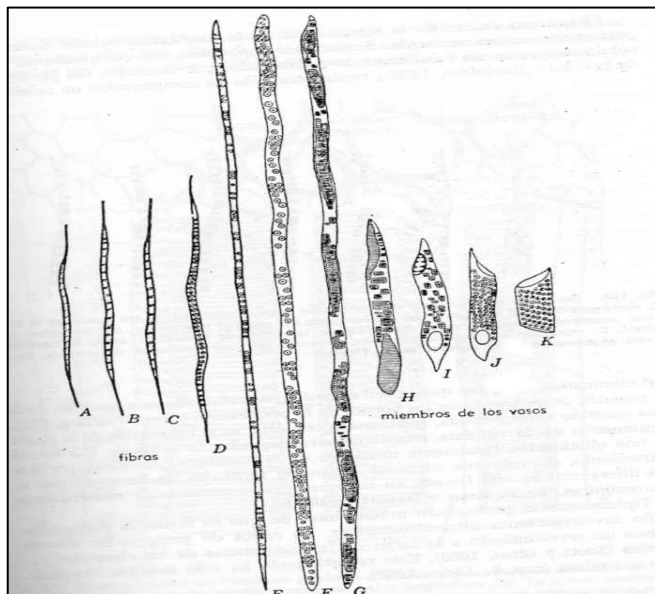


Figura 24. Elementos de xilema: A, B, C, y D: fibras; E, F, G: traqueidas; H, I, J, y K: miembros de vasos. (Esau)

FLOEMA: al igual que el xilema está formado por varios tipos de células, cada una de ellas especializada en una función determinada. Estas son los elementos cribosos: células cribosas con células albuminosas, tubos cribosos con células acompañantes, células parenquimáticas, fibras floemáticas, esclereidas y canales de secreción.

Elementos cribosos: éstos son las células cribosas, propias de Pinophyta (Gimnospermas) y los elementos de los tubos cribosos, característicos de Magnoleophyta (Angiospermas), ambas estructuras presentan protoplasma vivo en la madurez y carecen de núcleo.

Los elementos de los tubos cribosos se encuentran dispuestos longitudinalmente uno a continuación de otro, formando los tubos cribosos, éstos presentan en sus paredes laterales y a veces en las terminales las llamadas áreas cribosas. Corresponden a zonas deprimidas de la pared que presentan perforaciones; éstas permiten que se relacionen células adyacentes mediante flujos de citoplasma. El diámetro de las perforaciones es variable como lo es también el de las prolongaciones citoplasmáticas. En las perforaciones existe depositación de un carbohidrato denominado callosa. Conforme el elemento criboso va envejeciendo, aumenta la depositación de callosa, oprimiendo las conexiones citoplasmáticas. Figura 25.

Cuando el área cribosa tiene perforaciones notablemente mayores, se la denomina placa cribosa, pueden presentarse en las paredes terminales que separan a los elementos de los tubos cribosos.

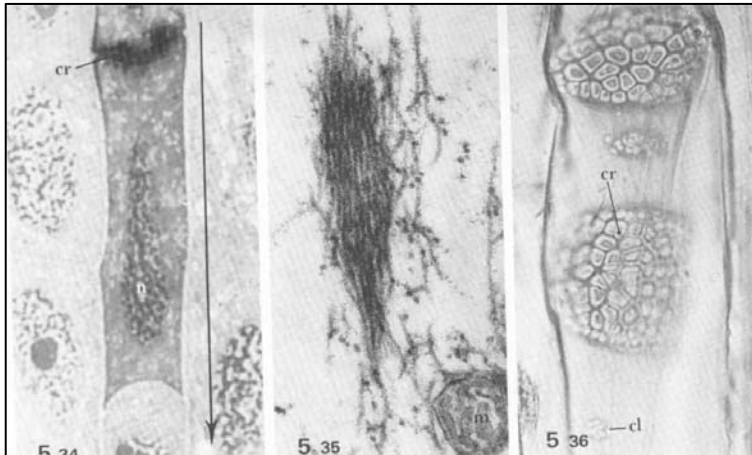


Figura 25. Miembros de tubos cribosos.

Las células cribosas son elementos con áreas cribosas poco especializadas. Generalmente son células largas y delgadas con extremos puntiagudos o paredes terminales inclinadas. Se disponen superponiéndose unas a otras. Dado que carecen de células acompañantes, en su lugar se observan unas células parenquimáticas que llevan a cabo una intensa síntesis proteica, las que reciben el nombre de **células albuminosas**.

Células acompañantes: son células parenquimáticas muy especializadas, asociadas a los elementos de los tubos cribosos, y que tienen su origen en la misma célula madre, manteniendo ambas una estrecha relación morfológica y funcional.

Células parenquimáticas: son células alargadas longitudinalmente -parénquima axial- que llevan a cabo muchas de las actividades que les son propias, especialmente relacionadas con el almacenamiento de sustancias de reserva, como almidón, grasa, taninos, etc.

Fibras: son células delgadas y de gran longitud, en forma de huso, con paredes lignificadas muy gruesas y puntuaciones simples.

Organización del tejido vascular: mientras el vegetal tiene sólo crecimiento primario, en los tallos estará dispuesto en cordones a lo largo del eje del vegetal; en la raíz se dispondrá como un cilindro continuo y macizo.

Crecimiento secundario

Muchas especies vegetales, además del crecimiento primario, expresado por el incremento en altura a partir de meristemos apicales, desarrollan un crecimiento secundario, claramente observable por el aumento en grosor de la planta. Este crecimiento, estará determinado por meristemos laterales o secundarios, estos son el cambium vascular y el cambium felógeno.

Cambium vascular: a diferencia de los meristemos apicales, se dispone a lo largo del tallo y la raíz, formando un cilindro completo que producirá floema secundario hacia el exterior, y xilema secundario hacia el interior del órgano. El xilema secundario es la madera. Figura 26.

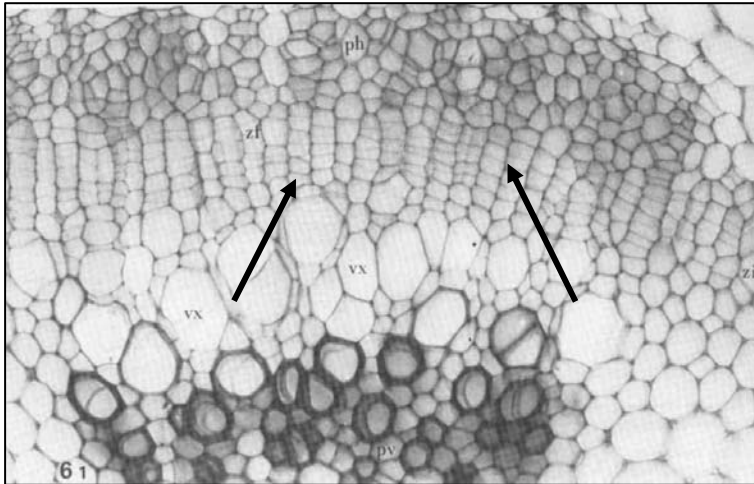


Figura 26. Corte transversal de tallo. Las flechas señalan la zona cambial.

Cambium felógeno: corresponde al meristemo lateral formador de peridermis, tejido dermal que en crecimiento secundario de tallos y raíces reemplaza a la epidermis.

La peridermis es una capa compleja, formada por tres capas de tejidos, siendo la más importante el súber, felema o corcho, cuyas células impregnan sus paredes de suberina e incluso lignina transformándose en células muertas. Figura 27.

Normalmente, la actividad del felógeno determina la muerte y desprendimiento del tejido por fuera de la peridermis, sin embargo, en especies como *Quercus suber* (Alcornoque), la formación anual de peridermis no implica la caída del tejido externo, desarrollándose una gruesa capa denominada ritidoma.

En ciertas regiones de la peridermis, generalmente donde hubo estomas pueden formarse las lenticelas, las que generalmente tienen una forma lenticular y sobresalen de la superficie de la peridermis. Su función está relacionada con el intercambio gaseoso entre el tejido vegetal y su medio.

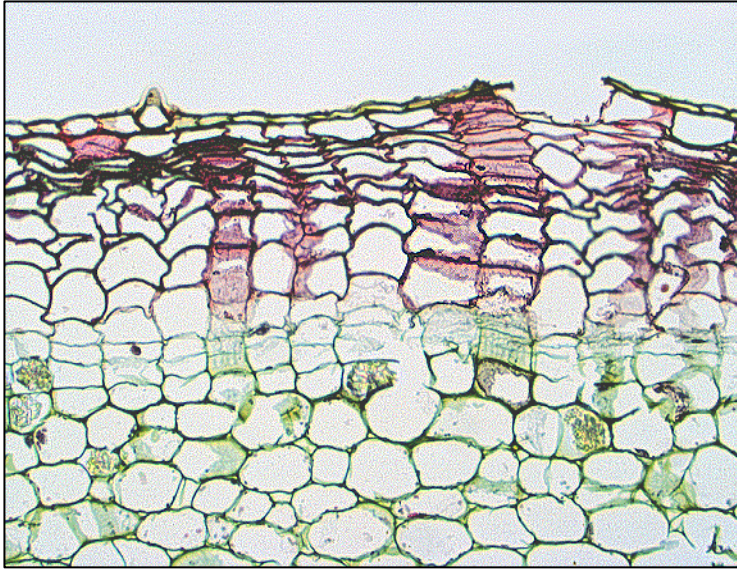


Figura 27. Fotografía de peridermis.
La zona con células rojas corresponde al felema o súber.

1.6 Organología vegetal

Raíz

Órgano subterráneo de las plantas vasculares, cuyas funciones fundamentales son, por un lado, la fijación de la planta al suelo y, por otro, la absorción de agua y sustancias disueltas, pudiendo en algunos casos actuar como estructura reservante.

En crecimiento primario, la raíz presenta un ápice radical, (formado en las últimas etapas del desarrollo del embrión) cubierto por una estructura llamada caliptra o cofia. En un corte longitudinal de raíz se observa, de afuera hacia el interior los siguientes tejidos: epidermis, corteza, periciclo y cilindro vascular.

Caliptra: constituida por células parenquimáticas de gruesas paredes, presentan una marcada polaridad, sus núcleos se ubican en la parte superior y en la porción basal presentan abundantes granos de almidón. Su función es proteger el ápice y facilitar la penetración de la raíz en el suelo secretando una sustancia mucilaginosa que facilita su desplazamiento. Tiene además, un importante rol en el geotropismo positivo de este órgano. La caliptra está en constante renovación por destrucción de sus células más externas. Se encuentra en las raíces de todas las plantas, excepto en especies parásitas y en las asociadas con micorrizas. En las plantas acuáticas se desarrolla, pero luego degenera. Figura 28.

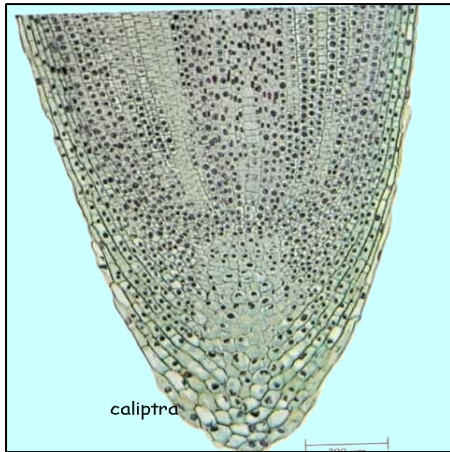


Fig. 28 Corte longitudinal de un meristema apical de raíz.

Epidermis: generalmente monoestratificada, sus células son relativamente irregulares, de paredes delgadas, normalmente sin cutícula, dispuestas en forma compacta. Carente de estomas, la epidermis sólo presenta pelos radicales. Figura 29.

Corteza: está formada generalmente por tejido parenquimático relativamente laxo, cuya diversidad morfológica dependerá del tipo de raíz y el ambiente en que se desarrolla. El tejido esclerenquimático sólo se presenta en raíces de monocotiledóneas, siendo escaso o ausente en los otros tipos de plantas vasculares. Figura 29.

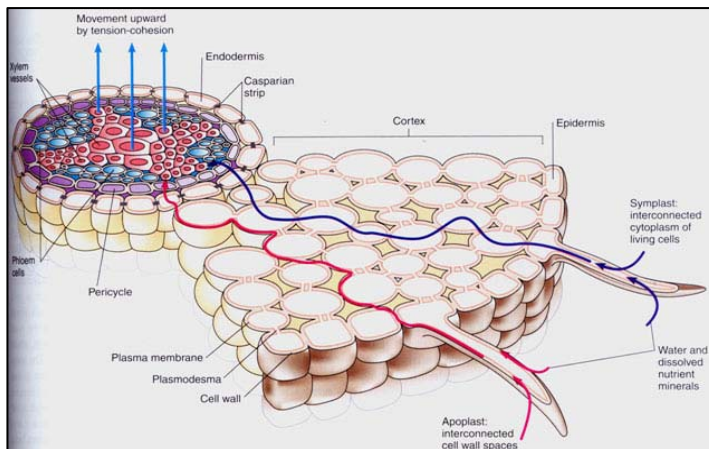


Figura 29. Esquema tridimensional de una raíz.

Externamente lo cubre la epidermis, debajo se observa la corteza cuyo límite es la endodermis.

En todas las raíces de plantas superiores, la capa celular más interna de la corteza llamada **endodermis**, forma un cilindro cuyas células en corte transversal tienen forma rectangular o cuadrada y levemente elongadas en corte longitudinal. Figura 30. Sus paredes radiales y transversales presentan la llamada banda de Caspary, con una compleja estructura y composición química. Compuesta en su mayor parte por suberina y lignina, está estrechamente unida al citoplasma celular, determinando, en consecuencia que todas las sustancias deban pasar por la membrana celular hacia el cilindro vascular, e impidiendo la pérdida de agua y solutos hacia la corteza.

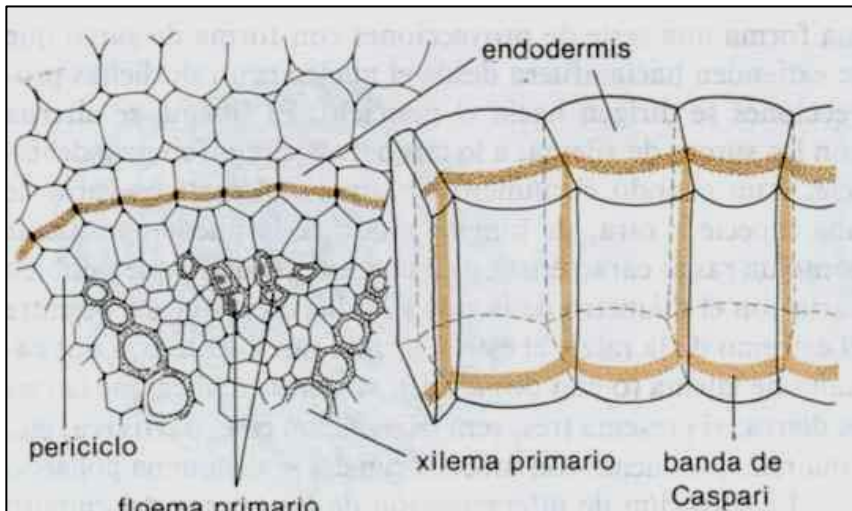


Fig. 30 Endodermis.

Periciclo: es una o más corridas de células generalmente parenquimáticas que constituyen el límite externo del cilindro vascular. Este tejido retiene sus características meristemáticas lo que le permite dar origen a las raíces laterales, al felógeno y a porciones de cambium vascular.

Cilindro vascular: formado por tejidos vasculares primarios que se ordenan en forma alternada y radialmente, observándose bandas de floema intercaladas entre los polos de xilema. Figura 31 a.

El crecimiento secundario ocurre en las raíces de las Pinophyta y en la mayoría de las Magnoliophyta; se inicia con la formación del cambium vascular que dará origen a los tejidos vasculares secundarios. En casi todas las raíces que tiene crecimiento secundario se desarrolla el felógeno que originará la peridermis en reemplazo de la epidermis. Figura 31 b.

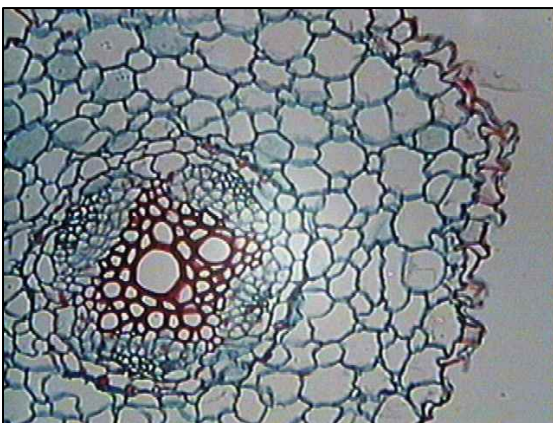


Fig. 31a. Raíz con crecimiento primario

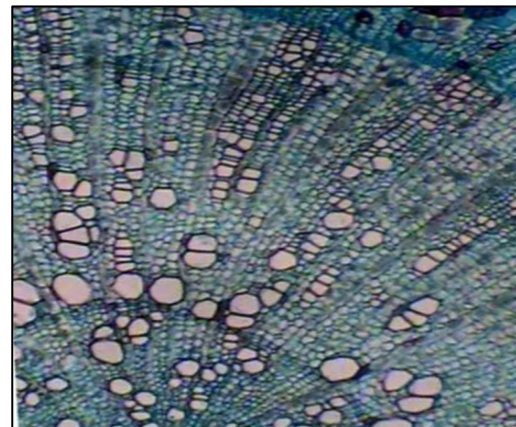


Fig. 31b. Raíz con crecimiento secundario

Tallo

El tallo es el órgano que en las plantas vasculares sirve de soporte a todas las estructuras aéreas del vegetal. Su crecimiento primario tiene lugar por la actividad del meristema apical de brote, y el crecimiento secundario por la actividad de los meristemos laterales.

En la estructura primaria del tallo se consideran los sistemas: dérmico, fundamental y vascular. Exceptuando la epidermis, los tejidos fundamentales y vasculares se distribuyen según un patrón común a cada grupo vegetal, encontrándose una composición típica para Magnoliopsida

(Dicotiledónea) y Liliopsida (Monocotiledónea). Las Pinophyta responden al mismo esquema de las Magnoliopsida.

Crecimiento primario: todas las plantas presentan una *epidermis* definida, generalmente uniestratificada, cubiertas por una cutícula más o menos gruesa. En ella es posible encontrar casi todas las modificaciones epidermales lo que le permite a los tallos adaptarse a los diferentes ambientes. Figura 32a.

La *corteza* corresponde a la capa de tejido bajo la epidermis. De naturaleza heterogénea, frecuentemente está constituida por parénquima de diferentes tipos; colénquima y esclerénquima; estos últimos, dan resistencia mecánica y pueden formar un cilindro completo, o bien, distribuirse en haces a lo largo del tallo.

En las Magnoliopsida y Pinophyta, el tejido vascular se dispone formando un cilindro hueco, o bien haces o cordones que en conjunto describen un cilindro, quedando una zona central llamada *médula* formada por parénquima.

En las Liliopsida los haces vasculares se encuentran dispersos en todo el tejido fundamental, no observándose la diferenciación de corteza y médula.

Crecimiento secundario: se inicia con la formación del cambium vascular, el que forma un cilindro completo de tejido meristemático que originará hacia el exterior floema secundario y hacia el interior xilema secundario. Ambos tejidos vasculares se generan anualmente en las especies de climas templados (primavera y verano), en cambio en especies tropicales ocurre permanentemente. Figura 32b.

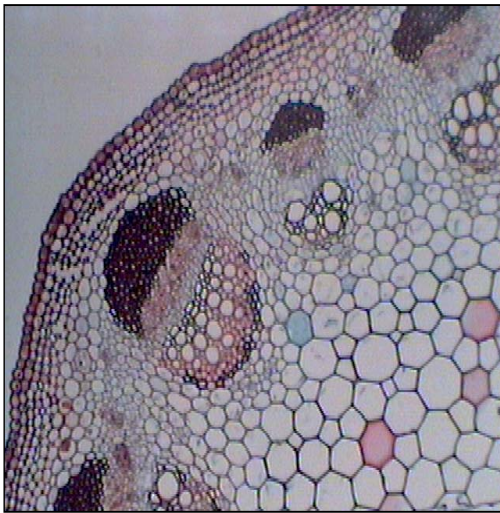


Fig. 32a. Corte transversal de tallo con crecimiento 1º.

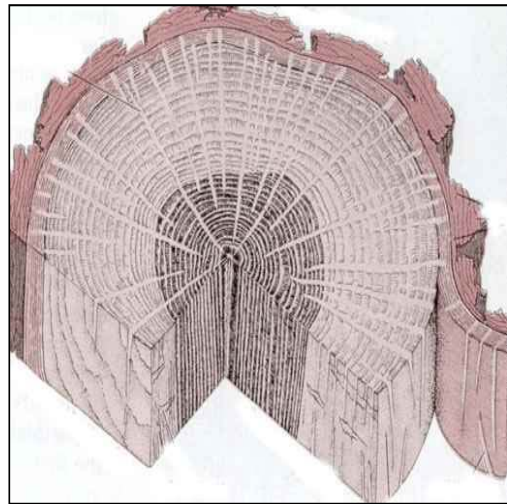


Fig. 32b. Tallo con crecimiento secundario.
El xilema es la madera.

Xilema secundario: básicamente presenta los mismos elementos celulares del xilema primario, sin embargo los tipos y proporciones de ellos suelen ser diferentes, observándose elementos traqueales con depositaciones de pared secundario de mayor magnitud, y menor cantidad de parénquima. Este último tejido ya no sólo se distribuye en el sistema axial del tallo, sino forma los llamados radios

medulares que se extienden hasta el floema secundario. Están formados por una o más filas de parénquima rico en reservas de almidón, dispuesto radialmente a través del tejido vascular. El xilema de Pinophyta, a diferencia del xilema de Magnoliopsida, carece de vasos y fibras, presentando únicamente traqueidas y radios medulares uniseriados. En muchas especies hay canales resiníferos que se disponen radial y axialmente en el tallo. Figura 33a y 33b.

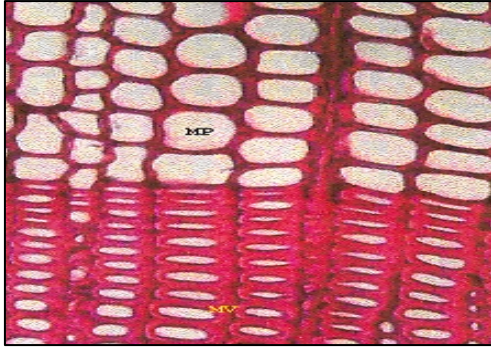


Fig. 33a. Corte histológico de madera de Pinophyta

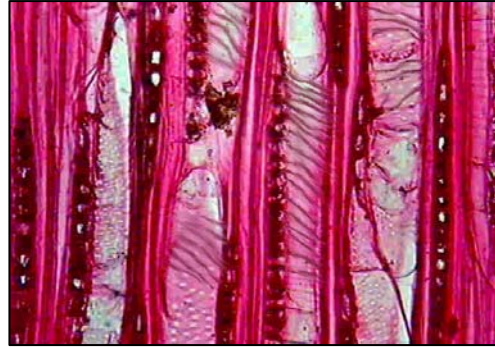


Fig. 33b. Corte histológico de madera de Magnoliophyta.

La observación macroscópica del xilema o madera muestra la formación de anillos relativamente concéntricos. Cada uno de ellos corresponde al crecimiento que se producirá durante la primavera y el verano de cada año.

La epidermis que cubría inicialmente el tallo, se rompe en la medida que éste aumenta su grosor, siendo reemplazada por la peridermis. En la medida que el tallo sigue engrosando la peridermis se rompe y es reemplazada por una nueva.

Hoja

Por su origen y desarrollo las hojas se consideran expansiones laterales del tallo, siendo, una diferenciación funcional, la que determina las diferencias morfológicas y anatómicas entre ambos órganos. En su organología se encuentran los tres sistemas de tejidos: dermal, vascular y fundamental.

Epidermis: representa el tejido dermal, generalmente es monoestratificada, aunque también puede ser del tipo pluriestratificada, característica propia de las hojas de ambiente xerófito. La epidermis puede presentar todas las modificaciones epidermales, excepto pelos radicales. La cutícula presenta un grosor variable según el ambiente en que vive la hoja, siendo más gruesa la de ambiente xerófito.

Los estomas pueden estar en la cara superior, inferior o en ambas; a nivel, bajo o sobre la superficie de la epidermis, características relacionadas con la disponibilidad de agua en el ambiente. Las hojas de ambiente seco tendrán los estomas hundidos o en criptas, las de ambiente húmedos los presentan elevados sobre el nivel de la superficie y las de ambiente mesófito los tendrán al mismo nivel de la epidermis. Figura 34.

Mesofilo: corresponde al tejido fundamental de la hoja y está constituido por parénquima en empalizada, generalmente en la cara adaxial (arriba) y parénquima esponjoso, en la cara abaxial (abajo). El primero de ellos está formado por células alargadas, estrechamente unidas y con abundantes cloroplastos. El otro tipo tiene escasos cloroplastos y presenta células que dejan amplios espacios entre sí, permitiendo la libre circulación de gases. Según el tipo de hoja y su

adaptación, en el mesófilo podrán encontrarse otras formas celulares como colénquima, fibras y esclereidas. Figura 34.

Sistema vascular: Los haces vasculares o “venas” están cubiertos por una vaina del haz, generalmente de naturaleza parenquimática; presentan un patrón de venación que puede ser reticulado o paralelo. La primera forma es común en Magnoliopsida (Dicotiledóneas) y, parten de una vena o haz principal del que nacen haces secundarios más delgados, y así sucesivamente, hasta finalizar en haces muy pequeños. Figura 34.

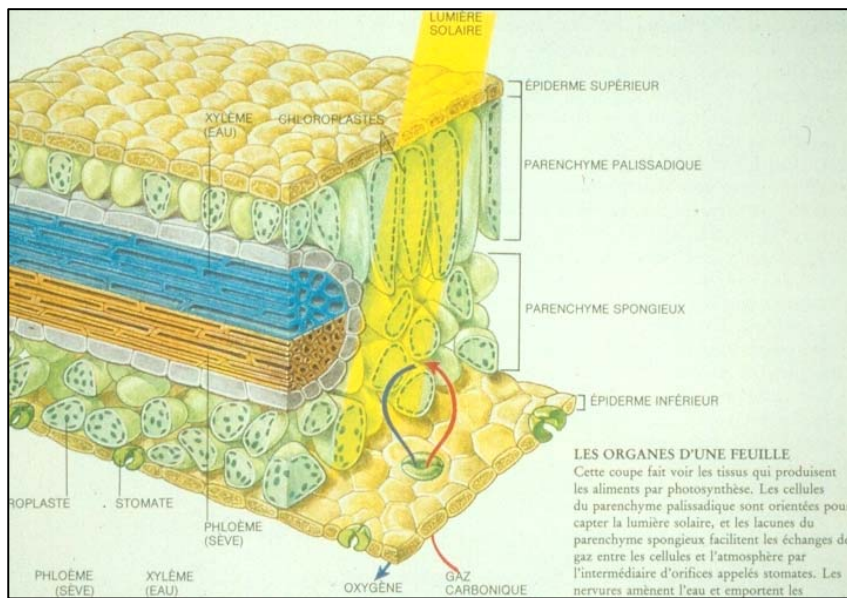


Figura 34. Organología de hoja.

Las Liliopsida (Monocotiledóneas) presentan nerviación paralela, cuyos haces presentan diámetros similares, los que están rodeados por una o dos corridas de parénquima y/o esclerénquima (vaina del haz).

Las Pinophyta, tienen hojas con epidermis simple, puede estar esclerificada (con depositación de lignina), y con estomas hundidos. Bajo ella existe una hipodermis de fibras. El mesófilo formado por un parénquima plegado con abundantes cloroplastos, limita internamente con una vaina del haz o endodermis que rodea el tejido central llamado tejido de transfusión, constituido por parénquima y traqueidas, al centro de este tejido se encuentran uno o dos haces vasculares.

Flor, fruto, semilla

La flor es un conjunto de de hojas modificadas que constituye la estructura reproductiva en Magnoliophyta, ella se forma a partir del ápice de brote del tallo, transformado en floral, marcándose con este evento el fin de la actividad meristemática “vegetativa” del ápice. Factores externos como la luz y la temperatura actúan sobre el medio interno para que ocurra un conjunto de transformaciones metabólicas que modificarán el funcionamiento del ápice, elongándolo y dándole una forma diferente, constituyéndose así en el meristemo floral o reproductivo.

Anatomía de la flor

Verticilos externos: tanto los sépalos como los pétalos tienen una epidermis adaxial y abaxial, parénquima fundamental y haces vasculares. Los sépalos, en general con cloroplastos, presentan una epidermis monoestratificada, con modificaciones epidermales y cutícula muy desarrollada. Los pétalos se diferencian de los sépalos por su coloración y morfología. Pueden presentar tricomas y estomas no funcionales en su epidermis; y un mesófilo de escaso grosor. En la base de los pétalos, como también de los sépalos, suele presentarse un tejido glandular de células pequeñas de citoplasma denso denominado nectario, cuya secreción atrae a los insectos.

Verticilos internos:

ESTAMBRES: estructuras formadas por un filamento que en su extremo apical sostiene una antera, ésta presenta una invaginación que la divide en dos lóbulos o tecas unidas por un tejido llamado conectivo. En cada una de las tecas se encuentran dos sacos polínicos lugar de formación de los granos de polen. El filamento presenta una epidermis cutinizada, luego un tejido fundamental parenquimático y un haz vascular central.

Además de la epidermis, la pared del saco polínico está formada por tres estratos de células: el endotecio, que juega un importante rol en la dehiscencia de la antera, la estrata transitoria y el tapete. Generalmente el tapete está formado por una capa de células poliploides o multinucleadas, de tamaño variable y citoplasma denso. Su función es servir como fuente de nutrientes para las células madres del polen y microsporas en formación.

Luego de formadas las células madres del grano de polen, y ocurrida la división meiótica, cada una de ellas se transforma en una tétrada de microsporas haploides, y cada una de ellas después de un proceso de profundas transformaciones se convertirá en un grano de polen.

Los granos maduros tienen gran cantidad de almidón, sustancias grasas y alto contenido de hormonas. Externamente están cubiertos por una pared formada por dos capas, la externa denominada exina, está constituida de esporopolenina; y la interna o intina, de naturaleza celulósica. Paralelo a la formación de la pared del grano maduro, el núcleo haploide se divide, formándose el núcleo vegetativo y el núcleo generativo. Figura 35.

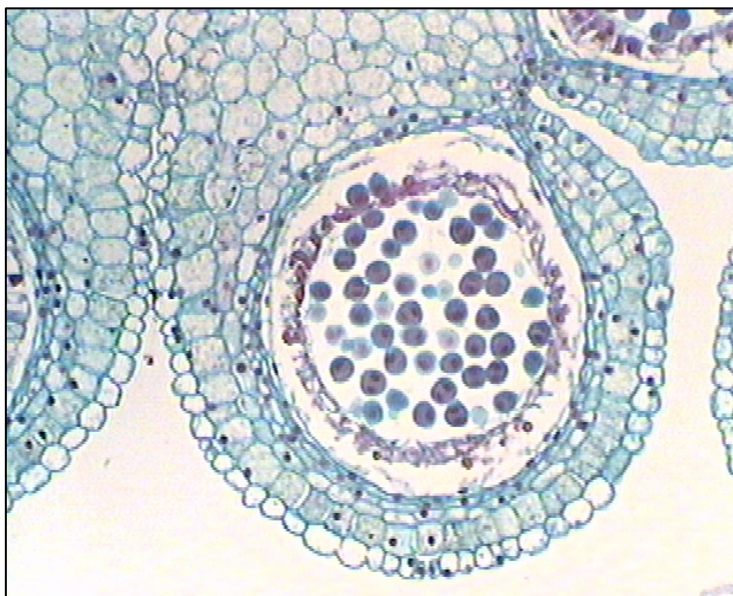
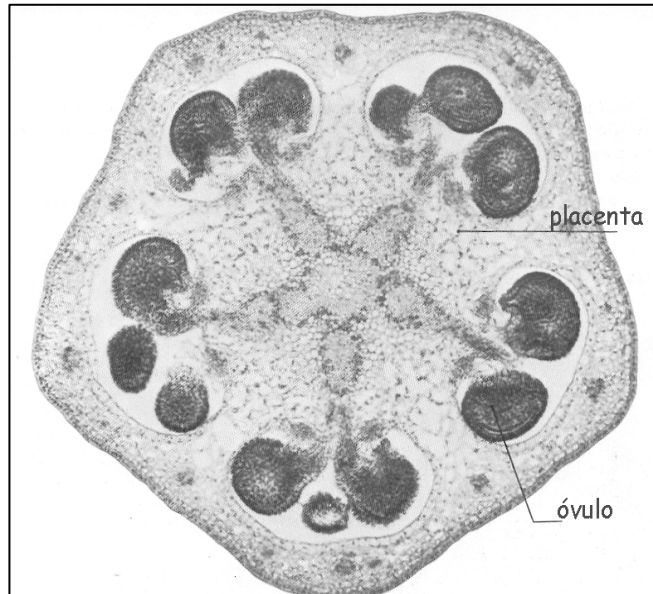


Fig. 35. Corte transversal de antera.

Carpelos: se pueden definir como hojas fértiles en cuyos márgenes se encuentra la placenta que da origen a los óvulos o primordios seminales. Estos márgenes se unen entre si o con los de otro carpelo formando el gineceo o pistilo. El gineceo normalmente está constituido por ovario, estilo y estigma y en cada una de estas partes se encuentra tejido dermal (epidermis), fundamental (parénquima) y vascular (haces vasculares de xilema y floema). Figura 36.

Figura 36. Corte transversal de ovario.



En cada uno de los óvulos del ovario, luego de una división meiótica de la célula madre de la megaspora seguida de tres mitosis sucesivas, se formará el saco embrionario, el que al madurar contendrá al gameto u ovocélula, además de siete estructuras haploides, de las cuales sólo permanecerán dos núcleos polares.

Luego de la polinización, tiene lugar la formación del tubo polínico a través del cual llegan hasta el saco embrionario los núcleos espermáticos, produciéndose la doble fecundación. Uno de los gametos se funde con la ovocélula formándose el cigoto. La unión del otro núcleo con los núcleos polares forma un núcleo triploide denominado núcleo endospermático del que se originará el endosperma.

El óvulo fecundado y desarrollado constituye la semilla, formadas por una cubierta seminal o testa; endosperma y el cigoto constituirá el embrión o esporofito joven.

Junto con la transformación del óvulo en semilla, el ovario modifica su estructura anatómica para convertirse en el fruto, el estilo y el estigma degeneran y se atrofian. Aunque el fruto se desarrolla normalmente a partir del gineceo, pueden participar en su formación otras estructuras florales como el cáliz, etc. Existen frutos que se forman sin que exista fecundación, a éstos se les denomina frutos partenocárpicos.

El fruto maduro está formado por una cubierta o pericarpio, constituido por: epicarpio, mesocarpio y endocarpio. Según la consistencia de las paredes, los frutos se clasifican en carnosos y secos, y éstos últimos en dehiscentes e indehiscentes, según su capacidad para abrirse en la madurez y liberar las semillas.

En los frutos carnosos la pared del ovario, o sólo la parte externa de ella se diferencia para formar una notable cantidad de parénquima. En la medida que el fruto va madurando, estas paredes pierden consistencia, como resultado de un serie de cambios en las células, tanto en el protoplasma como en las paredes celulares. El endocarpio y el exocarpio están formados generalmente por una sola capa de células, mientras que el mesocarpio presenta un número mayor de estratos celulares. Puede ocurrir que al madurar el fruto, el parénquima del endocarpio se esclerifique y forme un endocarpio óseo, en otros casos cartilaginoso, o bien, permanezca parenquimático.

En los frutos secos, el pericarpio se reduce notablemente, el exocarpio está constituido por sólo una epidermis de gruesas paredes al igual que el endocarpio, y el mesocarpio está formado por escaso parénquima y abundante esclerénquima especialmente rodeando los haces vasculares.

2 BOTANICA FORESTAL

M. Teresa Serra V.

Los vegetales se caracterizan por un crecimiento indeterminado debido a la presencia de meristemas (yemas) que producen continuamente nuevos tallos y raíces a lo largo de su ciclo de vida. Este crecimiento se ve influenciado por factores internos o endógenos o ambientales o exógenos.

Los vegetales crecen por repetición, adición o reiteración de partes o módulos de crecimiento. No crecen al azar. Una yema produce yemas que están en ramas de orden superior. El módulo inicial es el más antiguo y puede durar toda la vida, pero el módulo final puede tener 1 o 2 años de vida (Un individuo de *Araucaria araucana* de 500 años de edad esta constituida de partes de diferentes edades)

El estudio de los árboles o de las plantas leñosas, se denomina Dendrología y esta relacionada con la botánica forestal que incluye clasificación sistemática, los nombres científicos y la identificación de los árboles basados en sus atributos naturales y sus relaciones. El estudio dendrologico incluye el conocimiento de las características de los árboles y su distribución geográfica.

2.1 Elementos de taxonomía vegetal

La Botánica Sistemática es la ciencia de la clasificación y denominación de las plantas o vegetales. Su principal objetivo es ordenar la diversidad biológica del Reino Vegetal, estableciendo los grupos de plantas emparentadas entre sí, que presentan importantes características comunes (morfológicas, anatómicas, químicas, genéticas, reproductivas, biogeográficas, etc.), brindando a tales grupos los nombres que permiten identificarlos o reconocerlos.

La taxonomía permite la clasificación u ordenación de los seres vivos, mediante la nomenclatura y las Jerarquías taxonómicas.

Nomenclatura

La **especie** es definida actualmente como un grupo de plantas las cuáles tienen en común un gran grupo de características, interfértiles o que pueden presentar la capacidad de reproducirse juntas y que presentan un probable origen a partir de un antecesor común. Este concepto está representado por los individuos o ejemplares y sus poblaciones.

Los puntos esenciales en la nomenclatura son:

1) Intentar dar estabilidad a los nombres 2) Evitar o rechazar el uso de formas y de nombres que puedan ser causa de error o ambigüedades 3) Evitar toda creación inútil de nombres 4) La nomenclatura botánica es independiente de la que se utiliza en zoología 5) Los nombres científicos deben estar basados en la gramática latina

El nombre científico de la especie es binomial, propuesto por Carlos Linneo en 1753, en su obra "Species Plantarum" y que consiste en nombrar las plantas con solo dos palabras o nombres (sustantivos y adjetivos), la primera de ellas corresponde al apelativo genérico lo que indica el género al cuál pertenece la especie y la segunda corresponde al apelativo específico, agregándole, el apellido abreviado del

botánico que la clasificó por primera vez (Autoridad). Si otro taxónomo hiciera una corrección, deberá escribirse el primer autor entre paréntesis y a continuación el apellido del último botánico. De esta forma muchas especies presentan Sinonimia o nombres científicos no válidos actualmente ya que han sido rectificados por otros especialistas.

Por ejemplo: *Araucaria araucana* (Mol.) K. Koch es el nombre científico actual y válido para el "Pehuén" o "Araucaria" y presenta, además los siguientes

Sinonimia: *Pinus araucana* Mol., *Araucaria chilensis* Mirb., *Araucaria imbricata* Pavon

Por ej. La nueva especie nativa clasificada en 1999. *Nothofagus macrocarpa* (A.DC.) Vázquez & Rodríguez 1999 "Roble de Santiago" (Nothofagaceae), basada en *Nothofagus obliqua* var. *macrocarpa*, cumple con otra regla de la nomenclatura es la publicación efectiva: Cualquier propuesta taxonómica y nomenclatural ha de estar al alcance del conjunto de los botánicos no solo para su conocimiento, sino para que tengan la posibilidad de contrastarla o enmendarla.

Vázquez, F.M. y Rodríguez, R.A. (1999) A new subspecies and two new combinations of *Nothofagus* Blume (Nothofagaceae) from Chile. Botanical Journal of the Linnean Society (London), 129: 75-83.

Las reglas nomenclaturales se revisan periódicamente y son normadas por el Código Internacional de Nomenclatura Botánica en que se definen los reglamentos y principios en que se basa la clasificación de los taxa vegetales.

¿Para que sirven los nombres científicos?

Todas las plantas deben tener un solo nombre científicos válido y único en la actualidad y los nombres comunes varían localmente por conservación de las raíces culturales y lingüísticas así como en el tiempo. No son precisos, pueden referirse a varios taxa, por ej. "aromos", "pinos" incluye a un gran número de especies emparentadas o no.

Los nombres científicos de las especies están relacionados a un sistema de clasificación jerárquico, por lo tanto sintetizan gran cantidad de información acerca de su biología, ecología, distribución, usos y productos, resistencia a enfermedades, etc. El nombre científico representa los atributos de todos los ejemplares o poblaciones que han existido, existen y existirán de una especie.

Jerarquías taxonómicas

La Taxonomía Clásica reconoce categorías o Rangos ordenados en un Sistema Jerárquico.

Los taxones uninominales se reconocen por un – sufijo que se indica en la terminación del nombre. Cada jerarquía o rango se conoce con el nombre de Taxon o taxa.

TAXA	- SUFIJO	EJEMPLOS
REINO		
División	-phyta	1 Agrupa a clases por características Reproductivas
Subdivisión	-phytina	
Clase	-opsidae	agrupa a subclases u ordenes afines
Subclase	-idae	Agrupar órdenes según características evolutivos
Orden	-ales	Grupos de familias con características comunes
Suborden	-inae	
Familia	-aceae	Grupos de géneros con características importantes comunes
Subfamilia	-oideae	grupos de géneros afines
Tribus		
Genero		grupo de especies afines
Subgeneros		categorías menores de especies muy afines
Especie		Individuos inter fértiles con un conjunto de caracteres morfológicos privativos asociados a una extensión geográfica definida. esta representado por los individuos y sus poblaciones
Subespecie, variedad Forma, raza geográfica o procedencia		No corresponden a categorías botánicas tradicionales

La Especie **es** la unidad fundamental de la taxonomía tradicional.

Identificación taxonómica

La identificación taxonómica consiste en determinar el nombre científico de la especie. El conocimiento de la **correcta identidad** de la especie se puede lograr por tres formas diferentes:

1. Utilizando la literatura taxonómica disponible (ej. floras, claves dicotómicas, etc.)
2. Por comparación con muestras de herbario ya identificadas, y
3. Enviando el material para que lo identifique un especialista en el grupo taxonómico, cuando se tenga duda o no se cuente con los medios anteriores.

Para la identificación taxonómica del material fresco u herborizado se deben comparar sus características con las presentadas en las claves de identificación, publicadas en manuales botánicos, textos de Floras, artículos científicos monográficos. Las claves operan en base a la confrontación de la especie problema, con pares de caracteres contrastantes y excluyentes, designados como: 1 y 2, a y b, A y AA, de manera que solo corresponden a uno de estos, eliminando la posibilidad del otro.

Las Claves usadas deben ser dicotómicas, o sea, presentan dos alternativas claramente contrastantes en cada paso. Cada par de claves alternativas es llamado pareja. La clave es diseñada de manera que una parte de la pareja es aceptada y la otra rechazada. Los primeros caracteres contrastantes en cada pareja se definen como los caracteres claves primarios. Estos usualmente son los mejores caracteres contrastantes

Cada especie presenta atributos que son propios de su linaje y son determinados genéticamente. El aspecto fisionómico, morfológico y caracteres asociados permiten identificar o reconocer a los diferentes tipos de plantas.

En una descripción botánica tradicional con objeto de ordenar la información en las descripciones botánicas se han estandarizado de la siguiente forma, todos son caracteres taxonómicos intrínsecos o visibles y cuantificables en la muestra:

1. Habito (la planta como un todo)
2. Partes subterráneas (raíces, tubérculos, bulbos, rizomas etc.)
3. Yemas vegetativas
4. Tallos
5. Hojas (incluye filotaxis, estructura, pecíolo, forma de la lámina, base, ápice, márgenes, venación o nerviación)
6. Inflorescencias
7. Flor (incluye simetría, sexualidad , cáliz, corola, androceo, gineceo, placentación, óvulos y nectarios)
8. Frutos (incluye dehiscencia y características de las paredes del fruto)
9. Semillas (incluye testa, embrión y endosperma)+ Plántula+ Numero cromosómico

Se agrega al esquema general de la descripción, lo siguiente:

Número- posición en relación a otros órganos- posición relativa (súpero, infero, medio, superior o haz, inferior o envés, basal, distal, longitudinal, transversal, etc) - , tipo de fusión o soldadura entre piezas del mismo verticilo o **connación** o entre piezas de diferente verticilo o **adnación,- forma- tamaño- color- textura o superficie, indumento o detallada descripción de los pelos y anatomía.**

Las ilustraciones son muy útiles en la identificación de plantas. Al dibujar se realizan observaciones y relaciones que se omiten al realizar una descripción escrita.

Grupos taxonómicos en que se encuentran representados los principales árboles

Existen dos grupos principales de árboles, las Coníferas (Pinophytas o Gymnospermas), que corresponde a un grupo de plantas leñosas primitivas que se reproducen por semillas pero carecen de frutos, hojas aciculares, escamosas o reducidas y las Latifoliadas, de hojas anchas que corresponden a las Angiospermas o Magnoliophytas , principalmente dicotiledóneas.

También existen formas leñosas en las monocotiledóneas, en que se destacan las palmeras y las yucas.

Diferencias básicas entre los principales taxones de Plantas Vasculares

DIVISION PINOPHYTAS o GIMNOSPERMAS	DIVISION MAGNOLIOPHYTAS o ANGIOSPERMAS
Sólo especies leñosas, arbustos o sub-arbustos.	Especies leñosas y herbáceas.
Tallos de ramificación predominantemente monopodial.	Tallos de ramificación predominantemente simpodial.
Xilema compuesto por traqueidas, con puntuaciones areoladas.	Xilema compuesto por traqueidas y vasos.
Muchas especies presentan conductos resiníferos (Orden Coniferales), raro ausentes (Orden Taxales).	Nunca presentan conductos resiníferos.
Hojas uninervias, tricomas ausentes.	Hojas plurinervias, a menudo con tricomas.
Flores siempre sin perianto, muchas veces reunidas en conos o estróbilos, que presentan hojas carpelares abiertas y leñosas.	Flores con cáliz y/o perianto (cáliz y corola) o, verticilos accesorios ausentes en flores anemófilas, hojas carpelares soldadas.
Óvulos no envueltos en un ovario, no poseen verdaderos frutos.	Óvulos incluidos en un ovario formado por carpelos que posteriormente da origen a un verdadero fruto.

DIVISION PINOPHYTA O GYMNOSPERMAS

Clase Cycadopsida: Orden Cycadales: *Cycas resoluta*

Clase Gingopsida: Orden Ginkgoales: Familia Ginkgoaceae

Clase Gnetopsida

Orden Ephedrales: *Ephedra chilensis*

Orden Gnetales: *Gnetum sp.*

Orden Welwitschiales: *Welwitschia mirabilis*

Clase Coniferopsida

Orden Pinales o Coniferales:

Familia Araucariaceae

Familia Pinaceae

Familia Cupressaceae

Familia Podocarpaceae

Familia Taxodiaceae

Orden Taxales:

Familia Taxaceae

DIVISIÓN MAGNOLIOPHYTA o ANGIOSPERMAS

De acuerdo a los Sistemas de Clasificación mas ampliamente aceptados, cada Clase, se subdivide en Subclases ordenados de acuerdo a criterios evolutivos y de parentescos basado en el reconocimiento de caracteres de tipo primitivo o plesiomórfico y caracteres evolucionados, adaptativos o apomórficos.(Integrated System of Classification, Cronquist, 1988).

1. Division Magnoliophyta

1. Clase Magnoliopsida

1. Subclase Magnoliidae

2. Subclase Hamamelididae

3. Subclase Caryophyllidae

4. Subclase Dilleniidae

5. Subclase Rosidae

6. Subclase Asteridae

2. Clase Liliopsida

1. Subclase Alismatidae

2. Subclase Arecidae

3. Subclase Commelinidae

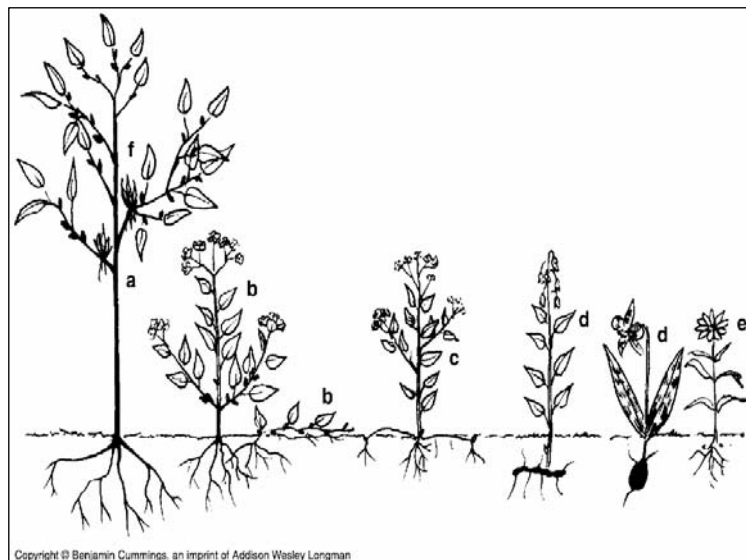
4. Subclase Zingiberidae

5. Subclase Liliidae

2.2 Selección de caracteres taxonómicos para la comprensión e identificación de especies vegetales

Las plantas como resultado de la germinación de las semillas, el embrión que contiene se desarrolla y sale afuera de las cubiertas seminales. Cada especie se desarrolla de acuerdo al grupo taxonómico al cual pertenece.

Además de las características genéticas y evolutivas de cada especie, ellas pueden presentarse en diferentes **Biotipos o Formas de Vida**: Son categorías morfológico-biológicas y estructurales que pueden reconocerse en las plantas por **adaptación o convergencia** de sus caracteres externos predominantes a **climas y ambientes ecológicos diversos**. Se basa en la posición de la yemas de renuevo o meristemas vegetativos.



Epífitas (f): Plantas que crecen sobre otras plantas; raíces en el aire

Fanerofitas (a): árboles, arbustos, lianas). Plantas leñosas o herbáceas vivaces (árboles, arbustos, cañas y grandes hierbas) cuyas yemas de reemplazo se encuentran en vástagos por encima de los 50 cm del nivel del suelo. Por su talla se pueden distinguir los siguientes biotipos: Nanofanerófitos (P nano) (< 2m) Microfanerófitos (P micr) (2m-10m) Mesofanerófitos (P meso) (10m-22m) Macrofanerófitos (P macr) (22m-50m) Megafanerófitos (P mega) (> 50m)

Camefitas (b): herbáceas perennes sobre el suelo

Geofitas o Criptofitas (d): hierbas con bulbos o rizomas

Terofitas (e): hierbas anuales herbáceas

Tamaño del tallo

Los arbustos y árboles en general corresponden a la forma de vida denominada Fanerofitos y se dividen según la altura que alcanzan sus tallos o fustes.

Nanofanerófitos (< 2m)	<i>Baccharis linearis</i> , <i>Baccharis concava</i> , <i>Azara dentata</i> , <i>Fuchsia magellanica</i> , <i>Drimys andina</i>
Microfanerófitos (2m-10m)	<i>Acacia caven</i> , <i>Acacia dealbata</i> , <i>Porlieria chilensis</i> , <i>Cordia decandra</i>
Mesofanerófitos (10m-22m)	<i>Quercus suber</i> , <i>Quillaja saponaria</i> , <i>Cryptocarya alba</i> , <i>Platanus x acerifolia</i> , <i>Beilschmedia miersii</i> , <i>Schinus molle</i>
Macrofanerófitos (22m-50m)	<i>Abies alba</i> , <i>Nothofagus alpina</i> , <i>Araucaria araucana</i> , <i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Eucryphia cordifolia</i> , <i>Pinus radiata</i>
Megafanerófitos (> 50m)	<i>Sequoiadendron giganteum</i> , <i>Sequoia sempervirens</i>

Longevidad

Las plantas que sólo viven algunos meses durante los cuáles nacen, crecen, fructifican y al final mueren, son las plantas anuales, como el trigo, el tomate, etc.. Otras no tienen el ciclo tan rápido y necesitan un primer año para desarrollar sus órganos vegetativos y acumular reservas y en el segundo florecen y fructifican: son las bienales, como la zanahoria y la remolacha. Muchas otras plantas florecen y fructifican varias veces, generalmente una vez al año, hasta que mueren. Los tallos de estas plantas perennes perduran durante muchos años a este grupo pertenecen los árboles y los arbustos.

El alerce, es una conífera nativa de gran longevidad al igual que el pehuen, el tejo y algunos pinos que pueden superar los 2000- 4500 años de edad. Especies nativas como robles, lengas, quillayes, peumos etc, sobrepasan fácilmente los 500-800 años de edad, en tanto algunos álamos de rápido crecimiento su vida empieza a declinar alrededor de los 40-50 años, cuando las palmeras chilenas recién están en las primeras fructificaciones.

Duración del follaje (se aplica solo para plantas leñosas)

Caducas, caducifolias o deciduas. Siempre verdes, perennifolias, o persistentes.

Arboles caducos, deciduos, -a. Follaje caedizo, dicese de las hojas que duran menos de un año y se desprenden durante el período desfavorable para la planta (estación fría o seca). Ejemplo: Robles, lengas, plátano oriental, abedules, álamos, etc.

Arboles siempreverdes, perennifolios o de hoja persistente: Follaje siempreverde, dicese de las hojas que duran mas de un año y no se desprenden durante el período desfavorable para la planta (estación fría o seca). Tienen periodos de recambio de 3,5,7 años. Ejemplo: *Eucalyptus*, pinos, coihues, tineos, peumos, litres, quillayes, aromos, etc.

Follaje marcescente (follaje persiste seco en la copa) y las hojas nuevas son coetáneas con las caducas. Ejemplo: Castaño de las Indias, encinas, etc.

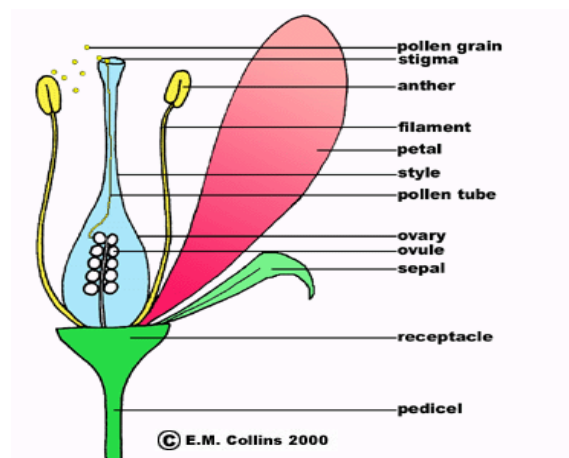
Formas de copa y sistemas de ramificación de los ejes

Simpodismo y monopolismo. Concepto de Modelos arquitecturales en árboles.



Las flores determinan la sexualidad de los árboles

Las estructuras florales son elementos de gran valor como **caracteres taxonómicos** para el reconocimiento de los diversos taxa.



Sexualidad de las flores: De acuerdo a la presencia o ausencia de las estructuras reproductivas en las flores, estas pueden ser:

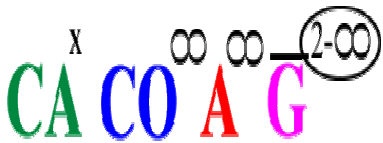
- Flores Unisexuales o diclinas: pistiladas o femeninas ♀ o masculinas ♂ o estaminadas.
- Flores Hermafroditas o monoclinal

Sexualidad de las plantas: Las plantas individuales pueden ser Monoicas o Diocas, Trioicas, o Poligamas.

Los árboles producen frutos y semillas

Para la identificación de las Magnoliophytas o Angiospermas, las estructuras reproductivas en particular las flores y los frutos constituyen los mejores caracteres diagnósticos para el reconocimiento correcto del nombre científico de la especie y la pertenencia a los taxa superiores. Entre las herramientas más utilizadas es la determinación de las Formulas Florales

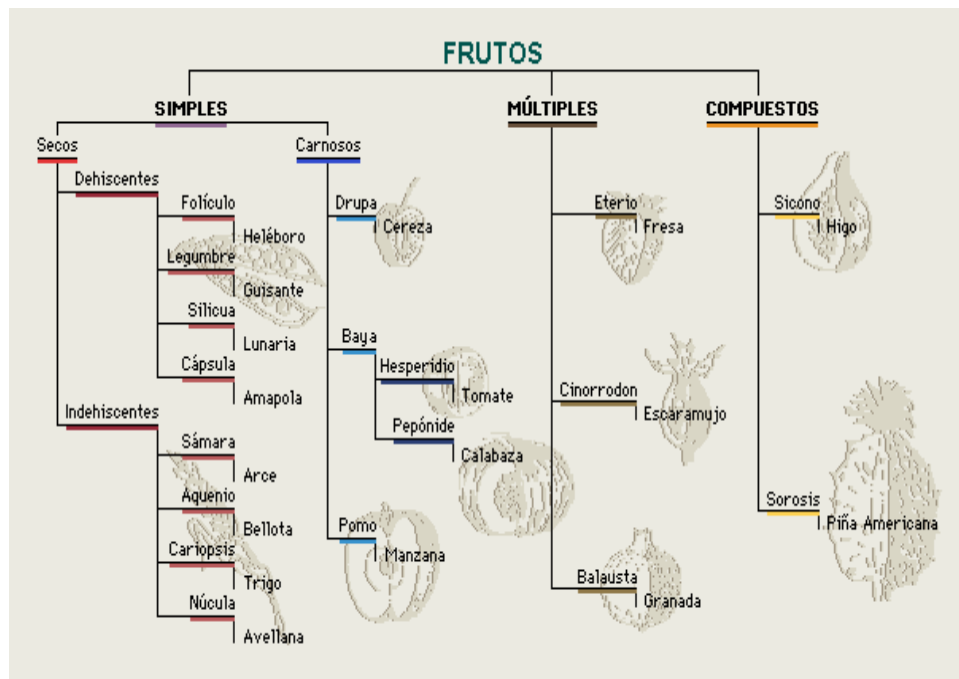
HERRAMIENTA UTIL PARA RECORDAR LAS **CARACTERISTICAS DISTINTIVAS** DE LAS FAMILIAS DE ANGIOSPERMAS



Representación de una flor mediante 5 letras o símbolos, signos y números

Simetría + cáliz+ corola+ androceo+ gineceo, fruto

Se recomienda agregar el tipo o tipos de fruto al final de la fórmula floral

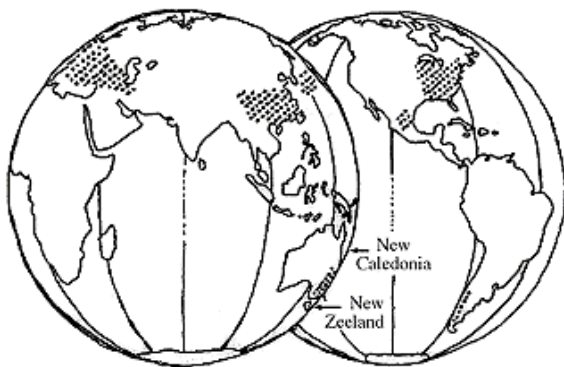


2.3 Distribución en el espacio: origen y distribución geográfica

La biogeografía, o Fitogeografía o Geobotánica, (referentes a las plantas) es la ciencia de la vegetación natural y de las especies que estudia la distribución de las biocenosis y especies en la Tierra. La biogeografía busca establecer cuáles son los organismos que viven en un área determinada y los procesos subyacentes a su distribución.

Factores que influyen en la distribución de los vegetales: abióticos; bióticos y antrópicos.

Regiones fitogeográficas mundiales: Holártica o Boreal, Paleotropical, Neotropical, Capense, Australiana, Antártica, Oceánica.



Árboles nativos, autóctonos

Plantas autóctonas que se desarrollan sin intervención humana. Muchas especies nativas son exclusivas de determinadas condiciones ecológicas del territorio nacional, como *Gomortega keule* “queule” árbol endémico de la cordillera de la Costa de la VIII y IX región de Chile. En tanto, alerce y araucaria son endémicos de los bosques subantárticos de Chile y Argentina.

Algunas especies pueden extender su distribución por cambios naturales del hábitat, o por grandes trastornos naturales como glaciaciones, o trastornos ecológicos como calentamiento global, fertilización nitrogenada, lluvia ácida, etc.

Árboles introducidos, exóticos o alóctonos

Plantas introducidas, aloctonas “alien plants” se desarrollan en un área dada debido a la actividad intencional o no, del hombre.

- **Las plantas exóticas** pueden ser plantas útiles cultivadas o introducidas intencionalmente por el hombre
- **Las plantas exóticas pueden naturalizarse, asilvestrarse o establecerse.** Muchas plantas son capaces de producir poblaciones de auto-reemplazo, por lo menos 10 años sin intervención directa humana por
- **Las plantas exóticas naturalizadas o asilvestradas** pueden transformarse en **Invasoras** cuando colonizan en forma natural áreas lejanas a sus progenitores y en forma abundante, o bien en **Malezas**.
- **Malezas:** Concepto antropocéntrico, que puede referirse tanto a flora nativa como a plantas exóticas, ya que son consideradas como tales, cuando cualquier planta que crece donde no es deseada y que tienen un impacto económico y/o ambiental negativo.

Las “malezas ambientales” son plantas exóticas invasoras que invaden terrenos naturales.

Árboles nativos, autóctonos: Plantas autóctonas del país, que se desarrollan naturalmente sin intervención humana. Pueden extender su distribución por cambios naturales del hábitat, glaciaciones, calentamiento global, fertilización nitrogenada, lluvia ácida, etc.

2.4 Usos y funciones de los árboles

Los árboles juegan un papel de gran importancia en la conservación del equilibrio con la naturaleza. Ayudan a restablecer el diálogo correcto entre el ser humano y el medio ambiente. Mas allá de los productos de valor económico que proveen a través de su particular funcionamiento, las cualidades de inmovilidad, estabilidad, longevidad de los árboles les otorga un valor especial de amistad y referente de lo natural o silvestre.

- **Principales árboles nativos en Chile y su estado de Conservación**
- **Principales árboles exóticos de Chile**
- **Árboles introducidos de valor forestal industrial:** *Pinus radiata* “pino insignia”, *Pseudotsuga menziesii* “pino oregón”, *Pinus contorta*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus nitens*, *Populus x euroamericana* “alamo”, etc.

- **Árboles nativos sus productos y servicios:** En Chile un número reducido de especies arbóreas de alrededor de 120 especies distribuidas a lo largo del país, pero proporcionan una gran diversidad de productos y servicios que comprometen al desarrollo sustentable de recursos para el futuro. Muchos árboles nativos son cultivados en el exterior con aplicaciones aun no desarrolladas en nuestro país.

Aromas y perfumes: laurel chileno, espino, peumo, boldo, bellotos

Forrajeros: maiten, espino, algarrobo, chañar, tamarugo, carbonillo

Productores de frutos y semillas comestibles: Avellano, pehuen, palma chilena, chañar

Medicinales: boldo, maqui, maitén, quillay, radial, queñoas, canelo

Néctar para la producción de Miel: ulmo, quillay, tineo, tiaca, peumo

Madera de calidad: Rauli, lenga, roble, coihues, tepa, tineo, lingue, laurel, olivillo, alerce, ciprés de la cordillera, avellano, radial, guayacán, espino, tamarugo, maños, cipres de las guaytecas.

Ornamentales: Ulmo, quillay, maiten, raulí, roble, coihue, pehuen, maño, canelo, bellotos, patagua, arrayán, sauce chileno, espino, algarrobo, lingue, notro.

Recuperación de suelos degradados: Litre, quillay, algarrobos, molle, etc.

Árboles Urbanos: Los árboles urbanos son un aporte estético al paisaje, proporcionan riqueza y diversidad de volumen, forma y colores cambiantes que contribuyen al equilibrio psicológico del ciudadano. Son punto de atracción faunística especialmente de aves que ayudan a controlar enfermedades y plagas de las mismas plantas. Parques, plazas, jardines y el arbolado urbano constituyen islas verdes en las ciudades modernas.

Los árboles urbanos ayudan a la descontaminación atmosférica y a la fijación del carbono. Su presencia en plazas, calles y avenidas constituyen identidad y patrimonio tanto histórico como y natural.

Especies principales cultivadas en la Región Metropolitana: *Platanus x acerifolia*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Prunus cerasifera* var. *pissardii*, *Fraxinus excelsior*, *Ulmus campestris*, *Ligustrum lucidum*, *Acacia dealbata*, etc. Y las palmeras: *Washingtonia robusta*, *Phoenix canariensis*, *Jubaea chilensis*. También se destacan las coníferas de porte monumental como *Araucaria bidwilli*, *A. angustifolia*, *Araucaria excelsa*, *Cedrus deodara*, *Cupressus sempervirens* y *Taxus baccata*. **Árboles y arbustos nativos** se lucen en plazas y parques de la ciudad: quillayes, pataguas, maitenes, espinos, peumos, bellotos, chilcos, maquis, quebrachos, mayos, corontillos

2.5 Actividad de terreno

Analizar los **Caracteres Taxónomicos intrínsecos:** cualitativos y cuantitativos, en especies vegetales presentes en el Campus Antumapu, mediante la observación, reconocimiento e interpretación de las diferentes estructuras morfológicas presentes:

I. Complete la siguiente pauta para las especies seleccionadas:

Nombre científico:.....

Familia:.....

Nombre común o vulgar:

II. Determinar la siguiente información para cada especie analizada

Forma de vida

Descripción incluya dimensiones

Adaptaciones

Estado fenológico

Origen y/o Distribución

Estado de Conservación

Usos e importancia

SUGERENCIAS: Ubique a lo menos 2 descripciones taxonómicas de las especies revisadas y complemente sus observaciones de terreno con la bibliografía y las ilustraciones.

BIBLIOGRAFIA

FONT QUER, P. 1979. Diccionario de Botánica. 1244 pp. Ed. Labor, Barcelona. *

IIZCO, J. & als. (1997). Botánica. Ed. Mc.Graw-Interamericana. Barcelona

HILL, A. E. 1965. Botánica Económica. Plantas útiles y productos vegetales. Ed. Omega, Barcelona. 616 pp

HOFFMANN, A. J. 1995. El árbol urbano en Chile. 2ª ed. Fundación Claudio Gay, Santiago. 255 pp.

JUDD, CAMPBELL, KELLOGG, STEVENS. 1999. Plant Systematics. A phylogenetic Approach. Sinauer Assoc.

MARZOCCA, A. 1985. Nociones Básicas de Taxonomía Vegetal. IICA. P. 199-232

RAVEN, P. H., R.F. EVERT & S. E. EICHHORN. (1991). Biología de las plantas. Ed. Reverté.

SCAGEL, R. E. & als. (1987). El reino vegetal. Ed. Omega.

STRASBURGER, E. & als. (1994). Tratado de Botánica. Ed. Marin.

SERRA, M.T. 1991. Elementos de Botánica Forestal. I. Morfología. Departamento de Silvicultura. Apuntes Docentes N° 4.

URL recomendadas y consultadas:

<http://waynesword.palomar.edu/termfl1.htm>

<http://employees.csbsju.edu/ssaupe/biol308/Field&Lab/fieldnbk.htm>

<http://www.forecos.cl>

<http://www.chlorischilensis.cl>

<http://www.lclark.edu/~florance/planttax/>

<http://www.sasb.org.au/>

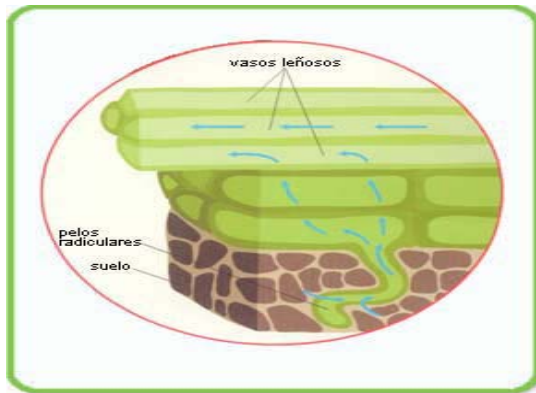
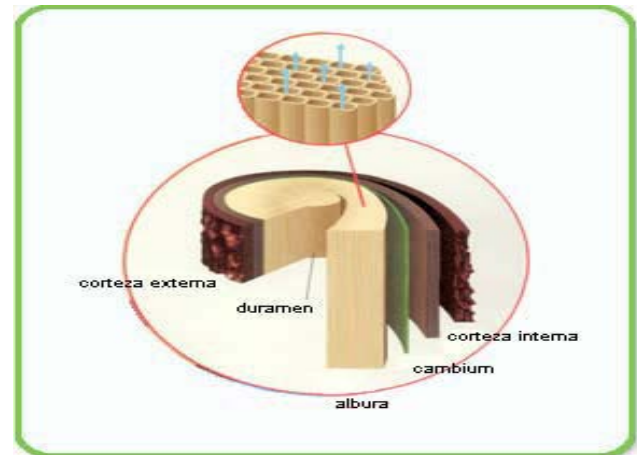
3 PRODUCTOS DEL ÁRBOL Y LA MADERA

Javier González Molina

3.1 ¿Qué es la madera?

La madera es una sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los árboles; se ha utilizado durante miles de años como combustible, materia prima para la fabricación de papel, mobiliario, construcción de viviendas y una gran variedad de utensilios para diversos usos. Este noble material, fabricado por la naturaleza con un elevado grado de especialización, debe sus atributos a la complejidad de su estructura.

Está atravesado por una red de células longitudinales (desde las raíces a la copa) y transversales (desde la médula a la corteza) de distintas características, que dan forma a sus tres componentes químicos básicos: celulosa, hemicelulosa y lignina, más otros compuestos secundarios como taninos, gomas, aceites, colorantes y resinas .



La madera contiene pequeños tubos que transportan agua desde las raíces a las hojas; estos vasos conductores están dispuestos verticalmente en el tronco y son los que forman su veta. El tronco de un árbol no crece hacia lo alto (excepto en su parte superior), sino a lo ancho, y la única sustancia del tronco destinada a su crecimiento es una fina capa situada entre la corteza y la madera, llamada cambium; a través del cambium circula la savia cruda, y produce el tejido fibroso externo, así como la zona interna a través de la cual circula la savia.

Las maderas se clasifican en duras y blandas, según el árbol del que se obtienen. La madera de los árboles de hoja caduca (caducifolios) es madera dura, en tanto la madera de las coníferas está clasificada como madera blanda.

3.2 Madera Aserrada

El aserrado es un proceso donde se transforman los trozos en piezas con caras planas y a escuadra (tablones y basas), (SMITH, J., 2001).

La madera aserrada es en todo el mundo el material más utilizado en todos los sectores de la construcción. Las propiedades de esta madera, otorgan amplias posibilidades de utilización, la gran resistencia en

relación con su peso y la facilidad de tratamiento, han hecho que se le haya considerado desde hace siglos un elemento imprescindible en la construcción, donde unos dos tercios de toda la madera en rollo elaborada industrialmente en el mundo es aserrada.(1)

La intensidad con que se usa la madera aserrada dista mucho de ser uniforme en todo el mundo. El 14 % de la población mundial, que vive sólo en tres países - Canadá, Estados Unidos y la U.R.S.S., consume el 55 por ciento de la madera aserrada que se utiliza. En cambio, el 67 % de la población mundial, que vive en América Latina, África (excluida África meridional) y Asia (excluido el Japón), consume sólo el 11 por ciento (2).

Usos finales de la madera aserrada

La madera aserrada ofrece una amplia variedad de usos, lo que contribuye a la diversidad. La vivienda y la construcción es el mayor uso final de la madera aserrada, en casi todas partes del mundo, por ejemplo en los Estados Unidos se utiliza un promedio de 20,5 m³ de madera aserrada por cada nueva vivienda; en Europa noroccidental, la cifra es de 6,8 m³; en los países mediterráneos de Europa, de 3,7 m³; y en el sur de Asia se emplea menos de 1 m³ (y en las zonas rurales del sur de Asia, menos de 0,2 m³). Además la madera aserrada es considerada un material estructural para la armazón de edificios y armaduras de cubiertas y superficies da asiento de pisos; se emplea también para revestimiento de paredes, suelos, puertas y marcos de puertas, marcos de ventana, estantes, armarios, etc, (2).

Aprovechamiento

Una gran cantidad de factores influye sobre el aprovechamiento de madera aserrada. Las variables más significativas son: el ancho de corte, el esquema de corte, las dimensiones de la madera, el diámetro, longitud, conicidad y calidad de la troza, sobredimensión de la madera verde, la toma de decisiones del personal y las condiciones de mantención de la maquinaria (Melo y Rabón, 1989).

Las técnicas más avanzadas de aserrado emplean una combinación de sierras circulares, chipper canter y fresas, alcanzando aprovechamientos de 60 a 68%. Como aprovechamiento promedio en Chile se alcanza un 30 a 35% para maderas nativas y un 55 a 57% en aserraderos grandes de pino radiata (Gutiérrez, 2004).

3.3 La Madera: productos de CMPC_remanufactura

Pino Finger Joint

Consiste en piezas de pino sólido en que se eliminan los nudos para dejar tablas homogéneas, unidas entre sí con unión finger joint en la cara o en el canto, pudiendo ser rústico o cepillado.

Molduras

Consisten en perfiles fabricados con madera de pino radiata, tanto con madera sólida como con piezas finger joint. Las molduras pueden ser cubiertas con pintura y barnices y se destinan principalmente a uso en terminaciones de interior y exterior en el área construcción.



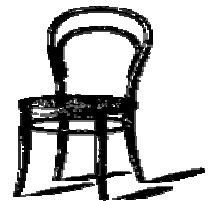
Tableros

Pueden ser formados por piezas de pino sólido o finger joint, encolados de canto o de cara. Los tableros de pino sólido se utilizan principalmente en la fabricación de muebles, repisas y componentes de puertas. Los tableros de pino finger joint se destinan principalmente a la fabricación de muebles y al área de la construcción, y para este uso también pueden ser cubiertos con pintura.



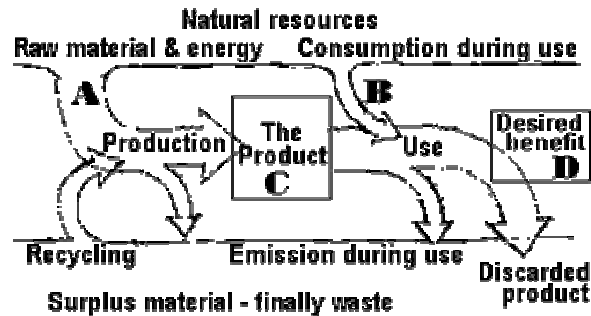
3.4 Teoría de la fabricación de muebles

Materiales y tecnología. "Hasta los años 60, los adelantos mayores de muebles de este siglo dependieron todos, en una forma u otra, sobre avances tecnológicos" escribe Sparke (1986, p. 105). Ella se refiere no solamente a las máquinas nuevas, que ella enumera meticulosamente para cada período subsecuente, pero también a los materiales novedosos de construcción. No contando la madera recta unida tradicional, Sparke enumera los materiales siguientes que han motivado a diseñadores para inventar las formas radicalmente novedosas para muebles:



- Madera doblada como típicamente en los productos de la fábrica Thonet en Austria.
- Tubos de acero. La primera base teórica para su uso en muebles fue dada probablemente por Le Corbusier, que deseó incluir muebles en la "máquina para vivir". Otra meta era economizar en material y espacio. Las máquinas para el nuevo material vinieron en el principio de industrias automovilísticas y de la construcción naval y avión. A partir de 1928 la fábrica Thonet modificó sus máquinas de doblar madera para manejar el acero también, y comenzó producir los diseños de acero de Marcel Breuer.
- Contrachapado. El primer uso de él estaba en las espaldas de guardarropas y en fondos de cajones, pero se amplió gradualmente a otras partes planas de muebles y animó a diseñadores a utilizar formas planas más frecuentemente. Un uso novelo de él comenzó con la invención de contrachapado doblado, por Alvar Aalto y otros.
- Tablero de partículas. Su rigidez permite prescindir del marco y también satisface bien al hacer se mismo (do-it-yourself). Favorece diseño caja-formado, e igual como contrachapado se puede manejar con las máquinas normales de la carpintería.
- Plástico, como contraste, aboga diseñar con formas curvadas tridimensionales, especialmente cuando se utiliza la fibra de vidrio o la tecnología ABS. Estos materiales y la tecnología vienen inicialmente desde la construcción de barcos. El PVC inflable presenta otro método de construir una silla plástica. Confía en la presión de aire de guardar la forma y por lo tanto requiere formas semejantes a cojines. La espuma del poliuretano se puede utilizar semejantemente para definir la forma de un asiento suave sin marco rígido.
- Papel (quizás reforzado con tela, plástico etc.) se ha utilizado de vez en cuando en muebles "pop", quizás para profesar una forma de vida poste-moderna, una movilidad social, una libertad

intelectual y una protesta contra sociedad tradicional y sus estilos de período. Las formas posibles al diseñar con el papel son restrictas, siendo sobre todo variantes de cilindros y conos.



Los antedichos no son ciertamente las últimas materias y máquinas nuevas que se introducen en la industria de muebles. Hoy las máquinas no se substituyen a menudo por nuevos, porque es generalmente posible ajustar las robot-máquinas modernas para tareas nuevas. Esto significa que cada fábrica tiene un arsenal algo permanente de máquinas, y cuando un diseñador de nuevos muebles desea hacer su propuesta evaluada desde el punto de vista de la fabricación, el método más seguro es a menudo simplemente consultar a los encargados de la planta de producción. Además, los datos nuevos sobre materiales y máquinas son de vez en cuando actualizados en las nuevas ediciones de los manuales de fabricación.

Al lado de materias y máquinas, puntos de partida importantes al planear la fabricación de muebles son ecología y economía. Ambos se discuten en sus páginas respectivas: Ecología de productos y Economía de productos. Además, una vista general sobre la Teoría de la fabricación se trova en una página separada.

3.5 Ecología de fabricación

La teoría general de la ecología industrial, un informe corto de que se da en la página Ecología de los productos, se puede aplicar fácilmente al diseño y a la fabricación de muebles. Al analizar la producción y el uso de los muebles, con el modelo estándar del análisis ecológico de ciclo vital (a la derecha), resulta que los muebles raramente generan desventajas ecológicas graves: las materias primas, especialmente madera, son renovables, hay un mercado de reciclaje animado, y la disposición de materiales es relativamente simple porque es generalmente fácil desmontar muebles y los materiales de desecho no son tóxicos.

Por supuesto, la existencia de la teoría confiable de la ecología no significa que siempre se utiliza. Los diseñadores y los fabricantes de los muebles podrían hacer a menudo un trabajo mejor en la reducción del uso del material y de la energía y al facilitar la recuperación de materiales.

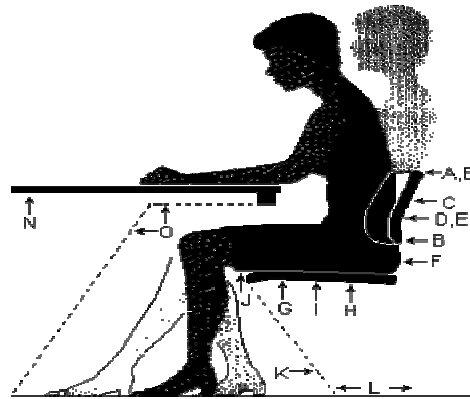
3.6 Economía y gerencia

La teoría de la economía industrial, los ramas principales de que se retratan en la página Economía de los productos, incluye numerosos procedimientos poderosos que se utilizan a menudo al optimizar un producto nuevo.

Asimismo, hay técnicas útiles para optimizar el surtido de los productos de la compañía. Comparando los ingresos con los costes fijos y variables, es posible definir para cada producto la cantidad de equilibrio (break-even) o el volumen crítico de ventas que la compañía deba sobrepasar para conseguir la ganancia

positiva. Este método también precisa los productos menos provechosos que la compañía entonces puede quizás abandonar. Se explica en Optimización de la producción y precio.

Hay métodos económicos de optimización para el cliente, también. Al escoger muebles entre varias alternativas, el análisis de coste-ventajas se utiliza a menudo.



3.7 Teoría de la usabilidad de muebles

La usabilidad ha sido un aspecto principal en muchos estudios normativos acerca de muebles, especialmente durante la última mitad del siglo 20, al mismo tiempo que el estilo funcionalista de la arquitectura profesó que la función debe ser el punto de partida para todo diseño. Un país pionero era Suecia, donde Möbelinstitutet, un centro de investigación para los muebles fue creado en 1967 con el financiamiento principalmente del estado. Los primeros proyectos trataron con aspectos y dimensiones ergonómicas, y en base de estos estudios, recomendaciones fueron dados y diseminados con eficacia. Debajo está un extracto de los requisitos ergonómicos generales para las sillas y los escritorios de la oficina (según Berglund, 1976 p. 45):

- Los hombros deben estar libres moverse.
- Los bordes superiores e inferiores del respaldo deben ser cómodos - no bordes agudas.
- Cuando la persona inclina hacia atrás el respaldo debe dar la ayuda al pecho más bajo y lo se debe inclinar unos 15 grados. No debe ser demasiado ancho y restringir la mudanza de los brazos.
- Cuando está asentado vertical o un poco inclinado hacia adelante, respaldo debe dar apoyo a la espina dorsal.
- El respaldo debe ser amortiguado.
- El respaldo debe dar apoyo a la parte superior de la cadera pero un espacio abierto se debe dejar entre el respaldo y el asiento.
- La altura del asiento debe ser ajustable y permitir una altura de unos 2 cm. debajo de la corva.
- El asiento no debe ser deslizadizo. Una inclinación conveniente es cerca de 3 grados.
- El asiento debe ser amortiguado.
- Debe haber espacio libre de ca. 10 cm entre las piernas y el frente del asiento, para evitar de pellizcar los nervios.
- Espacio para mover las piernas.
- Debe ser posible empujar la silla detrás y remitirla. Los rodillos se deben evitar, sin embargo.
- El asiento debe ser un poco más ancho que la cadera. Debe permitir mover la postura. Puede ser plano o un poco cóncavo.
- La diferencia entre las alturas del asiento y del escritorio debe ser ajustable. La altura conveniente para un escritorio es a partir del 67 a 75cm.
- Debajo del escritorio debe haber espacio para los pies unos 70 cm. ancho y de 60 a 70 cm profundo.

3.8 La Celulosa

La Celulosa es la principal componente de las paredes celulares de los árboles y otras plantas. Es una fibra vegetal que al ser observada en el microscopio es similar a un cabello humano, cuya longitud y espesor varía según el tipo de árbol o planta. Las fibras de algodón, por ejemplo, tienen una longitud de 20-25 mm., las de Pino 2-3 mm. y las de Eucalipto 0,6-0,8 mm.. De igual manera, el contenido de celulosa varía según el tipo de árbol o planta que se considere. A continuación se muestra la composición de distintos árboles y plantas:

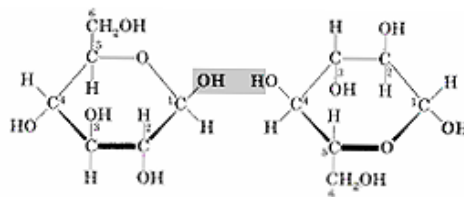
Principales componentes de los árboles y otras plantas (%)

	Celulosa	Pentosanos	Hemicelulosa	Lignina	Ceniza	Sílice
• Pinos	40-50	4-14	15-34	26-34	1	trazas
• Otros Árboles	38-51	9-26	21-27	16-30	1	trazas
• Bagazo de caña de azúcar	32-44	27-32		19-24	2-5	1.5-2
• Bambú	26-43	15-26		21-31	2-5	1.5-2.5
• Pelusa de algodón	80-85			3-4	1-2	
• Paja de trigo	28-36	23-28	25	12-16	15-20	12-18
• Paja de arroz	29-40	26-32	26	7-21	4-11	4-7

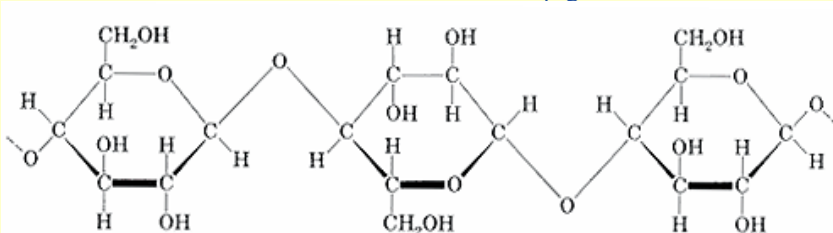
Fuente: TAPPI

ESTRUCTURA MOLECULAR DE LA CELULOSA

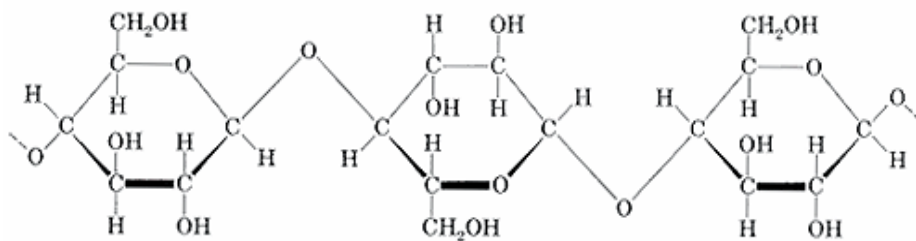
Desde el punto de vista bioquímico, la celulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ con un valor mínimo de $n = 200$, es un polímero natural, constituido por una larga cadena de carbohidratos polisacáridos. La estructura de la celulosa se forma por la unión de moléculas de β -glucosa a través de enlaces β -1,4-glucosídico, lo que hace que sea insoluble en agua. La celulosa tiene una estructura lineal o fibrosa, en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas de glucosa, haciéndolas muy resistentes e insolubles al agua. De esta manera, se originan fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales, dándoles así la necesaria rigidez.



La unión de 2 moléculas de β -glucosa forman un disacárido



La unión en cadena de “n” moléculas de β -glucosa forman un polisacárido. Mientras mayor sea “n”, mayor será la longitud de la fibra de celulosa. El algodón es la forma natural más pura de las fibras de celulosa, con un valor de “n” superior a 6000.



La unión en cadena de “n” moléculas de β -glucosa forman un polisacárido. Mientras mayor sea “n”, mayor será la longitud de la fibra de celulosa. El algodón es la forma natural más pura de las fibras de celulosa, con un valor de “n” superior a 6000.

A pesar de que está formada por glucosas, el hombre no puede utilizar a la celulosa como fuente de energía, ya que no cuenta con la enzima necesaria para romper los enlaces β -1,4-glucosídicos, sin embargo, es importante incluirla en la dieta humana (fibra dietética) por sus efectos benéficos.

En la actualidad, las Plantas de celulosa de Chile extraen esta fibra de la madera del pino y del eucalipto, separándola de las otras componentes de la madera como la lignina y la hemicelulosa.

Durante siglos, esta fibra se ha constituido en la materia prima para la fabricación de diversos objetos de uso cotidiano, entre los cuales sobresale, por su importancia, la elaboración del papel.

Empresas CMPC, desde su fundación en 1920, utilizó celulosa importada para la fabricación del papel, combinándola con la producción propia de celulosa a partir de la paja de trigo. Posteriormente –en los años 30-, y asumiendo el compromiso de abastecer a Chile de papel, CMPC adquirió plantaciones de pino insigne con la idea de extraer la celulosa de la madera.

Los árboles constituyen la principal fuente de fibras naturales para más del 90% de la producción de celulosa a nivel mundial; el restante 10% es aportado por otras plantas, tales como pastos, bambúes, bagazo de caña de azúcar, algodones, linos, cáñamos y otros.



Actualmente Chile exporta 2,6 millones de toneladas anuales de celulosa y una vez que los proyectos actualmente en construcción estén plenamente operativos, se estima que Chile exportará unos 5 millones de toneladas en el año 2010.

Pliegos de celulosa cruda sin blanquear:



3.9 Usos finales de la celulosa

Para reconocer la importancia de la celulosa, es necesario conocer sus diferentes aplicaciones y usos, los cuales se han ordenado de acuerdo al tipo de celulosa:

La celulosa (pulpa) mecánica: En Chile como en todo el mundo, este tipo de celulosa prácticamente no se transa en el mercado y es consumida directamente en las mismas Plantas donde se produce para fabricar papel de diarios, papel para guías de teléfonos y volantes. Es una celulosa de alto rendimiento, en el sentido que conserva un alto porcentaje de la lignina y otras sustancias de la madera y en consecuencia, es relativamente económica. Normalmente se utiliza en combinación con celulosa química para la fabricación tanto de estos papeles como otros destinados a revistas y catálogos, a los cuales a menudo se les agrega una capa de estucado para mejorar la calidad de impresión.

La celulosa quimio-termo-mecánica (CTMP): Esta celulosa tiene propiedades intermedias entre la pulpa mecánica y la celulosa kraft. Es un método de producción de celulosa relativamente nuevo, ya que se comenzó a utilizar en la década de los años 80, representando hoy alrededor de un 6% del total de las celulosas que se transan en el mercado. A menudo es blanqueada y un porcentaje significativo de la producción está integrada a máquinas que producen papel periódico y cartulina para envases. Sus atributos físico-mecánicos y bajo costo también permiten que sea utilizada en la producción de papeles blancos de impresión y escritura, sustituyendo a la celulosa química.

La celulosa kraft cruda: producida principalmente a partir de madera de pino que ha sido sometida a un tratamiento químico específico denominado kraft o al sulfato. Como su nombre lo indica, no es sometida a un proceso de blanqueo. Se trata de un segmento con un alto grado de integración a la producción de papeles y cartones. Representa alrededor de un 4% del total de las celulosas que se transan en el mercado. Es la más resistente de las celulosas y de hecho la palabra alemana “kraft” significa fuerza. Por esta razón constituye la materia prima para la fabricación de papeles para embalajes: papel kraft linerboard para cajas de cartón corrugado, papel sack kraft, para sacos y saquitos de papel, papel kraft de embalaje, cartulinas y cartones.

3.10 ¿Qué es el papel?

El papel es una estructura obtenida en base a fibras vegetales de celulosa, las cuales se entrecruzan formando una hoja resistente y flexible. Estas fibras provienen del árbol y, según su longitud, se habla de fibras largas -de aproximadamente 3 milímetros (generalmente obtenidas de pino insignie u otras coníferas)- o de fibras cortas -de 1 a 2 milímetros (obtenidas principalmente del eucalipto).

Según el proceso de elaboración de la pulpa de celulosa, ésta se clasifica en mecánica o química, cada una de las cuales da origen a diferentes tipos de papel en cuanto a rigidez y blancura.

Dependiendo del uso final que se le dará al papel, en su fabricación se utiliza una mezcla de los diferentes tipos de fibras, las que aportarán sus características específicas al producto final.

Así, un papel para fabricar sacos de cemento en que su resistencia es muy importante, se fabrica con fibras largas, en cambio un papel para escribir, en que su resistencia no es un atributo clave, pero si su formación, textura y opacidad, se fabrica principalmente con fibras cortas.

Dentro de las tendencias actuales, las que se enmarcan dentro del crecimiento sustentable, el reciclado de papel ha tomado hoy una importancia preponderante y es así como los últimos proyectos de papel para periódicos, tissue, papeles para corrugar e incluso papel para sacos se están produciendo con materia prima reciclada, logrando valores semejantes a los productos vírgenes.

El papel en Chile

El consumo de papel en Chile se mide a través del denominado Consumo Aparente.

El Consumo Aparente se define como la Producción Local , más las Importaciones de papel, menos las Exportaciones de papel.

El Consumo Aparente en Chile es de alrededor de 1.010 mil toneladas, desglosado en 7 grandes categorías, que se indican en el siguiente cuadro:

Tipos de Papeles	Miles de Ton .
• Papeles para Corrugar	440
• Papeles de Impresión y Escritura	230
• Cartulinas	60
• Papel para Periódico	80
• Papeles Tissue	150
• Papeles de Envolver	30
• Otros Papeles	20
TOTAL	1.010

3.11 Propiedades del papel

Las propiedades del papel se pueden agrupar en propiedades mecánicas -o de resistencia- y propiedades visuales -o de presentación-.

Una de las principales propiedades mecánicas es la rigidez. Ésta depende de las fibras que forman el papel, ya que un papel producido con mayor contenido de fibra larga será más rígido que aquel fabricado con mayor cantidad de fibra corta. También el tipo de pulpa de celulosa usado afecta la rigidez que tendrá el papel.

Tableros de madera: tipos y usos: Las actuales tecnologías permiten fabricar variados tipos de tableros, para ser utilizados en diversas aplicaciones en la construcción, la industria del mueble y diversas otras áreas. No basta con definir su espesor, tamaño (formato), tipo, peso o color. Por muy parecidos que se vean, a la hora de utilizarlos, es importante hacer algunas distinciones un poco más finas.



De madera aglomerada (Particle board)

- Se obtienen al prensar PARTÍCULAS de madera impregnadas de una resina adhesiva (urea-formaldehído). Tienen 3 capas: dos delgadas exteriores, que utilizan partículas muy finas y una capa central, con partículas mayores. Tras ser prensados, los tableros son cortados y pulidos. Finalmente, se someten durante 10 días a un acondicionamiento para equilibrar su contenido de humedad. En Chile se fabrican principalmente con Pino Insigne y Pino Araucaria.
- Tienen propiedades mecánicas similares a las de la madera con que fueron fabricados. Normalmente no sufren daños ni se comban con la humedad ambiental, aunque los Ecoplac y Facilplac, cuando son utilizados como revestimiento en ambientes cerrados, pueden sufrir daños. Eso sí, en contacto directo con el agua, todos sufren deterioros si no están adecuadamente protegidos.
- Los fabricados a través de extrusión, son continuos, de mayor espesor, con una estructura interna diferente, más resistente a la tracción que a la flexión.
- Se usan para fabricar tabiques o elementos divisorios autosoportantes para zonas secas.
- También en instalaciones comerciales, utilería y escenografía. Además en mueblería, como parte integral de muebles y partes y piezas que serán posteriormente recubiertas.
- Se cortan y trabajan con las mismas herramientas y procedimientos utilizados para maderas duras. Se pueden pintar tras protegerlos con algún imprimante.

Entre los tableros de este tipo se cuentan los siguientes:



- **Panel aglomerado:** Tablero grueso, de baja densidad. Se fabrica en 24 - 32 y 45 mm de espesor y en 1,52 x 2,44 m - 1,52 x 4,84 m y 2,50 x 2,16 m. Uso: revestir tabiques o como división auto soportante en zonas secas.
- **Placa aglomerada:** Tablero de partículas de madera unidas entre sí mediante un adhesivo ureico. Viene en 9 -12 – 15 y 18 mm y en 1,52 x 2,42 m. Uso: revestir tabiques, muros y pisos de zonas secas. En utilería y escenografía. En mueblería, como parte integral de muebles para su posterior recubrimiento.
- **Panel hidrorresistente o HR-100:** Tablero de partículas de madera de pino radiata, unidas entre sí mediante un adhesivo Fenólico, el cual le confiere sus características de hidrorresistencia. Es más oscuro que los tableros estándar. Mide 2,42 x 1,52 m. y se fabrica de 9 – 12 – 15 y 18 mm. Uso: revestimiento exterior, tabiques de zonas húmedas, base de cubiertas de techos y pisos y base de cubiertas para muebles de cocina y baño.
- **Ecoplac:** Tablero delgado de partículas finas de madera. Existe un Ecoplac recubierto con lámina de papel sobre una cara, que permite pintarlo sin problemas. Se fabrica de 2,42 x 1,08 m.; 2,16 x 1,52 m y de 2,42 x 1,52 m. y en 4, 6 y 8 mm de espesor. Los dos últimos vienen sólo en 6 y 8 mm de espesor. Uso: revestir cielos y tabiques en zonas secas. También en mueblería, para fondos de cajón, traseras y como base de tapizado para paneles divisorios de oficinas de planta libre.
- **Fácilplac:** Tablero delgado de partículas gruesas de madera. Su superficie está lijada. Viene en 8 mm y de 2,42 x 1,52 m. Uso: revestir cielos y tabiques, en zonas secas. También en mueblería, como base de tapizado para paneles divisorios de oficinas de planta libre.



Los aglomerados se pueden recubrir con todo tipo de laminados plásticos, chapas de madera y folios. De las Placas Aglomeradas se derivan los Aglomerados Enchapados, los Aglomerados Melamínicos y los Aglomerados Folio.

- **Aglomerado Enchapado:** Tablero de partículas de madera (Placa aglomerada) enchapado por ambas caras con chapas de madera natural seleccionadas, ya sean corrientes (pino), nativas (mañío, coigüe, etc), o exóticas (eucaliptus, mara, tauarí, etc) y perfectamente unidas entre sí. Una cara lleva chapas de 1ª calidad, seleccionadas y hermanadas de un mismo trozo de madera (calidad tipo A) y la otra lleva chapas de calidad B, no hermanada. Viene de 2,40 x 1,50 m. y en 12 – 15 y 18 mm de espesor. Uso: para muebles de hogar, oficinas, instalaciones comerciales y revestimientos decorativos, incluidas puertas de clóset, baño y cocina.

- **Aglomerado Melamínico:** Tablero de partículas recubierto por ambas caras con folio decorativo impregnado con resinas melamínicas. Su superficie es totalmente cerrada, libre de poros, dura y resistente al desgaste superficial (calor y líquidos de limpieza). Fabricado en 9, 15 y 18 mm de espesor, en dos formatos: 2,50 x 1,83 m y 2,42x 1,52 m. y en 5 tipos de decorado.(no aporta). Uso: para ambientes sanitizados, muebles de baño y cocina, hogar, oficina, hospitales e instalaciones comerciales.

4 ECOLOGÍA BÁSICA

Manuel Ibarra

Desde hace comienzos de la década de los 70, la preocupación por los temas ambientales y su relación con el desarrollo socioeconómico ha cobrado un interés creciente en los distintos ámbitos de la sociedad. En la actualidad, producto de la expansión de las comunicaciones y de las tecnologías de la información, esta preocupación parece haberse globalizado. Así es común encontrar referencias a temas como el cambio climático, la polución, la deforestación, la disminución de la diversidad biológica, el crecimiento demográfico y su relación con la producción de alimentos, los problemas energéticos, los cuales en mayor o menor medida están afectando las condiciones de vida de la especie humana. Aunque el deterioro ambiental, resultante de los modelos de producción y consumo imperantes, constituye una realidad tangible, en ocasiones crean un sentimiento de inquietud muchas veces amplificados por una información incompleta y mal interpretada, a veces errónea, que conduce a la adopción de medidas incorrectas o a la toma de posiciones extremas. Es por esta razón, que la comprensión de los fenómenos señalados requiere de un marco teórico y práctico que contribuya a orientar las acciones a emprender para subsanar los problemas enumerados. En dicho contexto, la Ecología, concebida como disciplina científica, en su intento por explicar los fenómenos que ocurren en la naturaleza, aporta información básica indispensable para comprender la organización y funcionamiento de los sistemas biológicos y sus relaciones con el ambiente. En este módulo, se pretende entregar antecedentes sobre la conceptualización de la ecología como disciplina científica, la comprensión y uso de los conceptos ecológicos básicos, así como algunos elementos de la estructura y funcionamiento de la unidad fundamental del estudio ecológico: el ecosistema.

4.1 La ecología como disciplina científica

Origen y definición del término ecología

Etimológicamente, la palabra ecología proviene de las raíces griegas: oikos, que significa casa, y logos que significa estudio. Así, literalmente, la ecología sería el estudio de la casa o ambiente. Aunque existen dudas respecto al verdadero origen del término ecología, en general se acepta que la primera definición formal fue efectuada, en 1866, el biólogo alemán Ernst Haeckel.

“Se entiende por ecología el conjunto de conocimientos referentes a la economía de la naturaleza, la investigación de todas las relaciones del animal tanto con su medio inorgánico como orgánico, incluyendo sobre todo su relación amistosa y hostil con aquellos animales y plantas con los que se relaciona directa o indirectamente. En síntesis, la ecología es el estudio de todas las complejas interrelaciones a las que Darwin se refería como las condiciones de la lucha por la existencia. La ciencia de la ecología, a menudo considerada equivocadamente como biología en un sentido restringido, constituye la esencia de lo que generalmente se denomina “historia natural”

En la definición de Haeckel se encuentra implícito el concepto de una rama de las ciencias que estudia las interrelaciones entre los organismos y el ambiente. Con el tiempo, sin embargo, esta definición ha sido objeto de interpretaciones algo diferentes, variando en su amplitud y profundidad. Así, por ejemplo, Elton definió la ecología como la historia natural científica que se preocupa de la sociología y economía de los animales. El ecólogo vegetal Clements la consideró como la ciencia de la comunidad, en tanto que, en períodos más recientes, Odum la define como el estudio de la estructura y función de la naturaleza.

Fuera del contexto científico, la palabra ecología frecuentemente es usada como sinónimo de “ambiente”, dándole a este la connotación del conjunto de organismos que habitan en sus condiciones primitivas, con poca interferencia humana, y especialmente, a aquella parte que es mas importante para el hombre por razones económicas, médicas, estéticas, sentimentales, etc. También se ha usado el término ecología con un sentido filosófico e incluso religiosos, lo que supone una visión específica del universo, con valores e imperativos morales, lo cual se ha traducido en lo que se denomina ambientalismo o ecologismo.

Aunque en la actualidad se cuenta con innumerables definiciones, la esencia de la ecología sigue encontrándose en la infinidad de mecanismos abióticos y bióticos e interrelaciones implicadas en el movimiento de materia y energía, que regulan la estructura y dinámica de las poblaciones y comunidades. En tal sentido, como muchos campos de la biología contemporánea, la ecología es multidisciplinaria y su campo es casi ilimitado. De esta forma, como lo señalara Macfadyen, al estudiar las interrelaciones que existen entre los organismos vivos (vegetales o animales) y sus ambientes, se pretende descubrir los principios que regulan estas relaciones. Por tal razón, su campo de investigación abarca todos los aspectos vitales de los seres vivos, su posición sistemática, sus relaciones frente al ambiente y entre ellos y la naturaleza física y química de su entorno inanimado. Por lo mismo, el ecólogo incursiona en los ámbitos de la botánica, zoología, etología, taxonomía, química, y hasta de la sociología. Se sobrepasan las fronteras de la ecología cuando se deja de considerar directamente las interrelaciones entre lo biótico y lo abiótico.

A modo de síntesis de las variadas definiciones existentes el Instituto de Estudios de Ecosistemas ha propuesto la siguiente definición:

“La ecología es el estudio científico de los procesos que influyen en la distribución y abundancia de los organismos, sus interacciones y las interrelaciones entre organismos y la transformación y flujos de materia y energía”.

En esta definición es posible destacar los siguientes aspectos: el foco inicial son los sistemas vivos (desde los organismos individuales hasta los ecosistemas); las relaciones entre las ciencias biológicas y físicas; la consideración conjunta de los aspectos bióticos y abióticos de la naturaleza, donde el énfasis en uno u otro dependerá de la naturaleza del problema a estudiar; el enfoque disciplinario esta basado en procesos, interacciones y relaciones mas que en las entidades físicas por si mismas.

4.2 Síntesis histórica del desarrollo de la ecología

Aunque el desarrollo de la ecología suele situarse especialmente en el siglo XX, sus raíces históricas son mucho más antiguas. Ya el hombre primitivo tuvo que disponer de un conocimiento operativo de las relaciones ecológicas que los afectaban. Así, el éxito de la caza sugiere un conocimiento acerca del comportamiento, requerimientos alimenticios y hábitat de sus presas y de sus predadores, lo que con el tiempo permitió llegar a la domesticación de plantas y animales. Tales conocimientos, por cierto, fueron solamente empíricos. El desarrollo de observaciones más rigurosas y el registro de las relaciones entre los animales, las plantas y el ambiente físico comienzan con las culturas egipcia y griega. En el siglo IV antes de Cristo, Aristóteles escribió sobre las plagas de ratones y langostas, dejando evidencias de un reconocimiento de un “balance de la naturaleza” y una armonía entre las plantas, los animales y el hombre. Alrededor del siglo II a.C., Theophrastus, un discípulo de Aristóteles, demostró una clara comprensión de la selección de hábitat por las diferentes plantas, así como los efectos que tienen los diferentes hábitats sobre el crecimiento y morfología de las plantas, así como las implicancias de estos efectos en la utilización de los árboles por la población. Tales expresiones de principios ecológicos permanecieron sin ser desarrolladas hasta que la mayor sofisticación de la agricultura condujo a un

incremento en el conocimiento práctico de las relaciones entre los organismos vivos y el ambiente físico. A mediados de la Edad Media, los establecimientos monásticos de Europa contribuyeron al crecimiento del conocimiento biológico de los bosques y de la historia natural.

Con posterioridad, durante el siglo XVIII y a comienzos del siglo XIX, diversas expediciones que tuvieron como finalidad desarrollar el comercio marítimo y descubrir nuevos recursos naturales, al contar con la participación de científicos, también contribuyeron de modo importante a sentar las bases de esta disciplina. En este contexto cabe destacar al botánico alemán Alexander von Humboldt, considerado por muchos como el padre de la ecología. Él fue el primero en exponer que existen relaciones entre las especies vegetales y el clima, a la vez que describió zonas de vegetación usando latitud y longitud (geobotánica).

En el siglo XVIII, la visión respecto a que la situación humana sólo podía ser perfeccionada por las instituciones sociales es reemplazada por el reconocimiento que el hombre, animales y plantas están controladas por los mismos procesos generales. En 1798, en su “Ensayo sobre la población”, Thomas Malthus establece que tanto el hombre como otros organismos, disponen de recursos limitados. Las ideas de Malthus han tenido enorme influencia en el pensamiento occidental; además de estimular el interés en los aspectos matemáticos de la biología, condujeron a las ideas de selección natural y lucha por la existencia, desarrolladas por Charles Darwin.

En 1850, con la publicación de “El origen de las especies” de Charles Darwin, la ecología pasa de un modelo mecánico repetitivo, a un modelo biológico, orgánico y evolutivo. Por la misma época, Wallace y otros autores reconocían que las especies no eran independientes unas de otras y las agruparon en especies vegetales, especies animales y luego en comunidades de seres vivos o biocenosis (término acuñado por Karl Möbius en 1877). Por esta misma época, se establecen las bases de la biogeografía, la cual se ocupa del hábitat de las especies vegetales y animales, y trata de explicar las razones de la presencia de ciertas especies en una localización determinada.

Los nuevos descubrimientos efectuados en el siglo XIX por Lavoisier y Saussure, especialmente en relación al ciclo del nitrógeno, revolucionaron la ecología. Después de observar que la vida se desarrolla solamente dentro de estrictos límites de la atmósfera, hidrósfera y litósfera, en 1875, el geólogo australiano Suess propuso el término biosfera para referirse a las condiciones que promueven la vida, tal como aquellas encontradas en la tierra, las cuales incluyen flora, fauna, minerales y ciclos de materia. Posteriormente, Vernadsky, en 1926, en el trabajo “La biosfera”, detalló el concepto -al que definió como la suma de todos los ecosistemas-, y describió los principios fundamentales de los ciclos biogeoquímicos.

Posteriormente, el pensamiento ecológico fue estimulado por los problemas ocasionados por las plagas agrícolas y los vectores de enfermedades. Con ello, a fines del siglo XIX, el reconocimiento y descripción de las comunidades vegetales y animales había logrado un considerable avance. De esta forma, el creciente conocimiento respecto de las interrelaciones entre los seres vivos y su ambiente físico condujo al reconocimiento generalizado sobre la necesidad de una nueva rama de las ciencias. Un rol importante en este aspecto es atribuido al desarrollo de las ciencias del suelo y a la silvicultura.

En 1935, Arthur Tansley utilizó el término ecosistema para referirse al sistema interactivo que se establece entre la biocenosis (grupo de seres vivos) y su biotopo, que es el ambiente en el que ellos viven. De allí, la ecología llegó a ser considerada como la ciencia de los ecosistemas.

Durante la década de 1920 comenzó a desarrollarse con mayor profundidad el concepto de ecología humana. Se reconoce que el hombre, al colonizar todos los continentes, constituye un factor ecológico

esencial, el cual modifica el ambiente a través de acciones como la urbanización, la pesca intensiva, la agricultura y la actividad industrial. A partir de 1970, la ecología humana se ha desarrollado como un campo de estudio específico en el que participan antropólogos, arquitectos, biólogos, demógrafos, ecólogos, etnólogos, planificadores urbanos y médicos. De esta forma la ecología humana ha pasado a constituir una rama de la ecología que estudia al hombre, las actividades organizadas de esta especie y su ambiente. Junto a ella se ha desarrollado el ambientalismo, una filosofía resultante de la ecología y aplicable a las sociedades humanas. Por otra parte, ha surgido la política ecológica, la cual aplica las ciencias ecológicas a las políticas y manejo de la ciudad. A partir de la Segunda Guerra Mundial, la subdisciplina de la ecología humana, se ocupó del rol de la humanidad sobre el planeta, considerando los peligros asociados a la energía nuclear, la industrialización, las consecuencias de la polución, la disminución de los recursos naturales y el crecimiento exponencial de la población. En dicho contexto es de interés destacar el trabajo de Lovelock, donde compara a la tierra como un macroorganismo único, y plantea la hipótesis de Gaia (la tierra madre). Esta visión, consistente con las nuevas nociones de la ecología (apreciación global de la biósfera y de la biodiversidad) incrementó el interés del público general por la ecología.

A comienzos de los años 70 surge la idea de ecología global. Al respecto, la UNESCO inicia un programa de investigación denominado “El Hombre y la Biósfera”, el cual pretende incrementar los conocimientos relativos a las relaciones mutuas entre el hombre y la naturaleza. En 1971, las Naciones Unidas realizan la primera conferencia sobre el ambiente humano dando origen a la frase pensamiento global, acción local. El siguiente evento de importancia para la ecología fue la aparición del término biodiversidad (1980). Los conceptos de biósfera y biodiversidad biológica fueron reconocidos y desarrollados durante la conferencia de Río, en 1992. Luego, en 1997, en la Conferencia de Kioto, los peligros de la biósfera adquirieron un reconocimiento internacional, enfatizándose los crecientes peligros asociados al efecto invernadero, los cuales conducen a cambios globales en el clima. En esta conferencia la mayoría de las naciones del mundo reconoció la importancia de considerar la ecología desde un punto de vista global, en escalas amplias, y de tomar en cuenta el impacto de las actividades humanas sobre el ambiente de la tierra.

El uso del término ecología era raro fuera de los círculos científicos hace 40 años. Hoy, sin embargo, es una palabra de uso común. La revolución semántica desafortunadamente ha sido acompañada por el frecuente mal uso e interpretaciones erróneas. Es común que se haya usado como sinónimo de conservación y preservación y como bandera de lucha por los movimientos ambientalistas. Como ciencia, la ecología no lleva implícitos juicios de valor. La información ecológica debiera ser usada como una ayuda en la formulación de tales juicios, aunque a menudo estos son hechos sobre la base de criterios sociales más que en criterios ecológicos.

Concepto de niveles de organización biológica; subdivisiones de la ecología

Frecuentemente se presentan confusiones en relación al ámbito temático que cubre la ecología. Por esta razón, para lograr un marco de referencia respecto a la contribución particular de la ecología es necesario comprender el concepto de niveles de organización biológica. Si se considera todo el conocimiento de la biología y de las disciplinas estrechamente relacionadas, es posible ordenarlos en una jerarquía creciente de complejidad biológica, donde cada nivel incorpora conocimientos del nivel inferior. El nivel más bajo es el de las moléculas en sistemas biológicos. Este tiene como base niveles no biológicos de átomos y moléculas (química), materia y energía (física), y número y espacio (matemáticas). Diversos autores han identificado los siguientes niveles de organización biológica en un orden de complejidad creciente: componentes subcelulares, células, tejidos, órganos, sistemas de órganos y organismos individuales. A ellos se asocian diversas disciplinas científicas tradicionales. Similar jerarquía podría delinearse para las

ciencias atmosféricas y de la tierra, las cuales al igual que las jerarquías biológicas, comienzan desde los átomos. En la Figura 1 se aprecia que casi todas las subdivisiones tradicionales de la biología están relacionadas con niveles de organización a nivel o bajo el nivel de organización de los organismos individuales. La Ecología, sin embargo, esta relacionada con: los organismos individuales en relación a otros organismos y el ambiente inanimado, grupos de organismos de las mismas especies (poblaciones), conjuntos naturales de poblaciones de diferentes especies (comunidades) y, sistemas naturales enteros compuestos por las comunidades y su ambiente físico (ecosistemas).

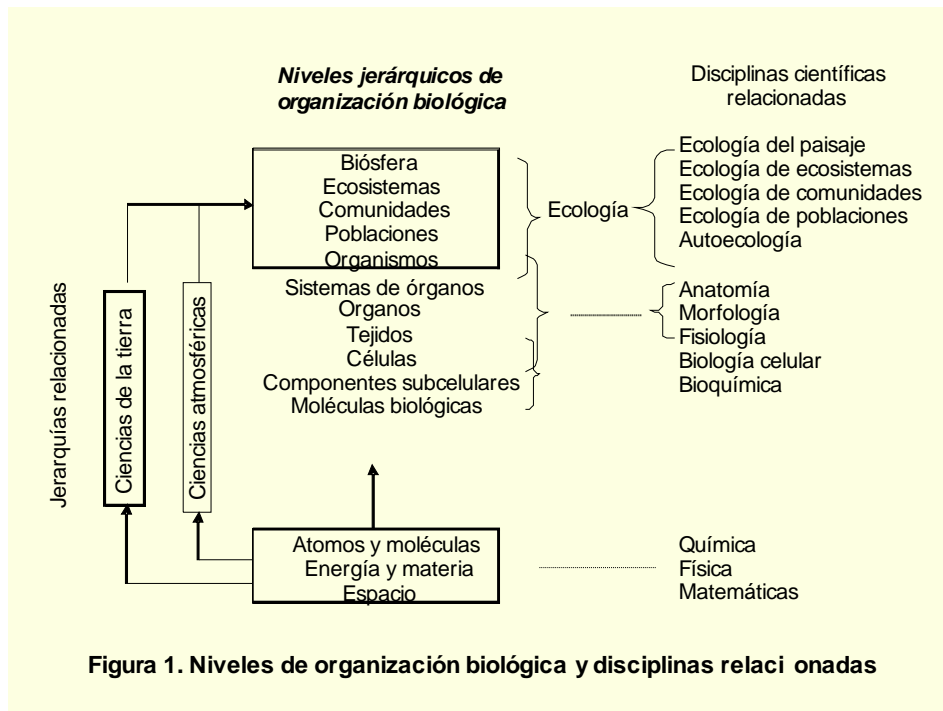


Figura 1. Niveles de organización biológica y disciplinas relacionadas

Dicho en otros términos, los niveles de organización concernientes a la ecología son aquellos que consideran desde el organismo hacia arriba. La ecología, como otras disciplinas no posee límites taxonómicos. Puesto que las ciencias como la fisiología, anatomía y genética pueden ser aplicadas a helechos y árboles, insectos y mamíferos, es posible estudiar la ecología de musgos y arbustos, bacterias y aves. La ecología es, en consecuencia, una división funcional y organizacional más que una división taxonómica del conocimiento científico.

La ciencia de la ecología tiene varias subdivisiones, cada una de las cuales esta asociada con distintos niveles de organización biológica. Así, el estudio de las respuestas de un organismo individual o de una especie a su ambiente frecuentemente es denominado autoecología. El estudio de la abundancia, distribución, productividad y/o dinámica de un grupo de organismos del mismo tipo podría ser clasificado como ecología de poblaciones. Los estudios que incluyen la descripción y cuantificación de algunos aspectos de la reunión natural de diferentes especies de organismos son clasificados como ecología de las comunidades. En algunos casos la ecología de las poblaciones y comunidades son agrupados bajo la denominación de sinecología. Por último, los estudios que involucran tanto a la comunidad como a su ambiente abiótico son clasificados como ecología de ecosistemas. Tales estudios, que primariamente suelen ser descriptivos, también pueden ser funcionales, como las relaciones entre la comunidad vegetal y el suelo, o como las formas en que los nutrientes y la energía son distribuidos y se mueven a través de un ecosistema.

4.2 El Ecosistema

Concepto de ecosistema. Atributos y propiedades.

El término ecosistema fue sugerido por el ecólogo inglés Tansley (1935). En su definición original se indicaba que incluía no sólo al complejo de organismos sino también a la totalidad del complejo de factores físicos que conforman lo que se denomina ambiente.

El concepto de ecosistema esta compuesto de dos entidades, la totalidad de la vida (biocenosis) y el medio en que la vida existe (biotopo). Dentro del ecosistema las especies están conectadas y dependen una de otras en una cadena de alimentos y de intercambios de energía y materia entre ellos y con su ambiente. El concepto de ecosistema puede ser aplicado a unidades de tamaño variable (microecosistemas, mesoecosistemas y macroecosistemas).

Como en la gran mayoría de los tópicos ecológicos, se han propuesto numerosas y variadas definiciones de ecosistema. Según Whittaker (1975), un ecosistema es un sistema funcional que incluye un conjunto de organismos interactuantes (vegetales, animales, descomponedores) y su ambiente, el cual actúa sobre ellos y viceversa. Para Odum (1971), un sistema ecológico o ecosistema es cualquier unidad que incluye todos los organismos (comunidad) de un área dada interactuando con el ambiente físico para que un flujo de energía conduzca a estructuras tróficas claramente definidas, diversidad biótica y ciclos de materia. A su vez, la Sociedad de Forestales Americanos (1996) da las siguientes definiciones: “cualquier sistema que contenga organismos o complejos de organismos vivos los cuales son aislados mentalmente para propósitos de estudio”, lo que sería una abstracción del medio natural percibido; “una comunidad de diferentes organismos interdependientes unos de otros, en conjunto con su ambiente no vivo, siendo relativamente autosuficiente en términos de flujos de energía, y distinto de las comunidades vecinas.

A partir de las definiciones de ecosistema pueden derivarse los siguientes atributos (Kimmins, 1996):

Estructura. El ecosistema esta conformado por subcomponentes bióticos y abióticos. Así, un ecosistema terrestre debe tener una mezcla de plantas, animales y microbios, un sustrato y una atmósfera. En otros términos, consiste de una comunidad biótica compleja, junto con el suelo, la atmósfera, una fuente de energía y un aporte de agua.

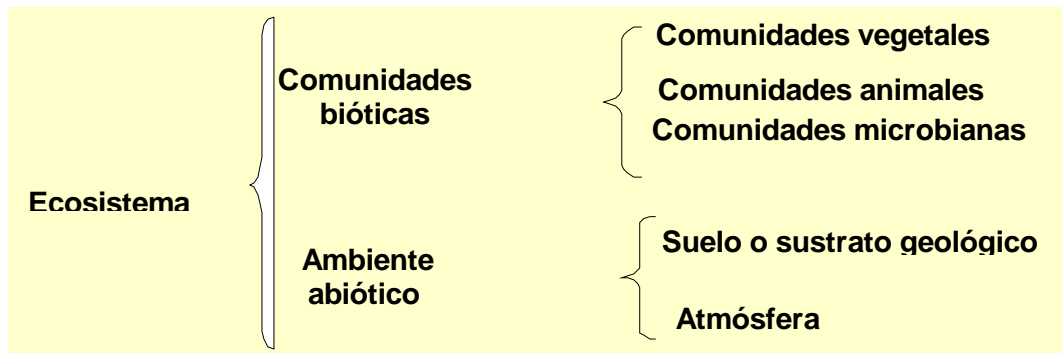


Figura 2. Componentes estructurales de un ecosistema

Función: Hace referencia al intercambio constante de materia y energía entre el ambiente físico y la comunidad viva. Ante la dificultad de diferenciar materia viva de no viva, el ecosistema puede considerarse como una entidad físico - química, dentro de la cual ocurren intercambios constantes de materia y energía entre los diferentes componentes.

Complejidad: Es la resultante de los altos niveles de integración biológica inherentes al ecosistema, donde cualquier evento o condición responde a un determinismo múltiple. Esto supone dificultades para predecir el comportamiento si no se dispone de un considerable conocimiento de los procesos estructurales y funcionales del sistema.

Interacción e interdependencia: Puesto que existe una alta interconectividad de los diversos componentes vivos e inanimados, los cambios ocurridos en algunos de ellos ocasionaran subsecuentes cambios en casi todos los otros. Este atributo ha conducido a concebir al ecosistema como un supraorganismo, lo cual, en general, ha sido rechazado debido a las diferencias entre un individuo y un ecosistema.

Cambio temporal: Los ecosistemas no son estáticos; además de un continuo intercambio de materia y energía, la estructura y funcionamiento total del ecosistema esta sujeta a cambios en el tiempo.

La importancia del concepto de ecosistema radica en el reconocimiento de la complejidad, interacción, procesos funcionales y cambios en el tiempo. Como debilidad habría que mencionar la dificultad de usar el concepto para identificar, cartografiar, describir y estudiar ecosistemas específicos, debido al problema que surge al definir sus límites. Esto lleva, en la práctica, a la necesidad de definir arbitrariamente la delimitación espacial, sobre la base de los objetivos específicos de estudio y análisis que se desee realizar. Sobre esta base algunos reconocen a los ecosistemas como entes reales, como sería el caso de una laguna, un bosque, un océano, un acuario. También pueden ser concebidos como entes abstractos, en el sentido que son esquemas conceptuales elaborados a partir del conocimiento de sistemas reales.

Los modelos y la representación funcional de los ecosistemas: Componentes y procesos

El ecosistema constituye un nivel de organización de alta complejidad por lo que es difícil lograr una comprensión precisa de su estructura y funcionamiento y, por lo mismo, efectuar predicciones certeras acerca de su comportamiento. De allí que su estudio requiera de herramientas que permitan entregar una versión simplificada de las condiciones reales. Como alternativa al estudio de fenómenos complejos se ha desarrollado el concepto de modelo, mediante el cual se pretende dar una forma comprensiva a la complejidad, a la vez de permitir efectuar predicciones respecto al sistema y sus respuestas a las perturbaciones. Entre las definiciones de modelo se pueden citar las siguientes:

Un modelo es una declaración formal y precisa que expresa el conocimiento actual o las hipótesis respecto al funcionamiento de un sistema particular y sus respuestas a estímulos (Landsberg, 1986).

Un modelo es una entidad físicas o abstracta que representa de alguna forma la estructura y/o función de las entidades y procesos del mundo real (Kimmins, 1997).

Existen diversas clases o tipos de modelos; desde los mas simples (modelos de representación interna o conceptuales) hasta los mas elaborados, de representación externa, que incluyen desde los modelos verbales o gráficos (informales) hasta los estadísticos, matemáticos y de simulación, los cuales permiten efectuar predicciones cuantitativas razonables.

La elaboración de un modelo comienza con la elaboración de un diagrama o modelo gráfico (diagrama de cuadros o compartimientos). A modo de ejemplo, en la Figura 3 aparecen representadas las propiedades P1 y P2, las cuales interactúan como I para producir o afectar la propiedad P3, cuando el sistema es

accionado por una fuente de energía E. Además, se observan cinco vías de flujo, donde F1 corresponde a la entrada y F6 a la salida del sistema global. De esta forma un modelo funcional de una situación ecológica consta de los siguientes componentes: i) una fuente de energía o función de forzamiento externo; ii) propiedades, denominadas variables de estado; iii) vías de flujo que muestran donde los flujos de materia o energía establecen conexiones entre las propiedades y con la fuerzas; y iv) funciones de interacción donde las fuerzas y propiedades interactúan para modificar, amplificar o controlar los flujos o crear nuevas propiedades emergentes.

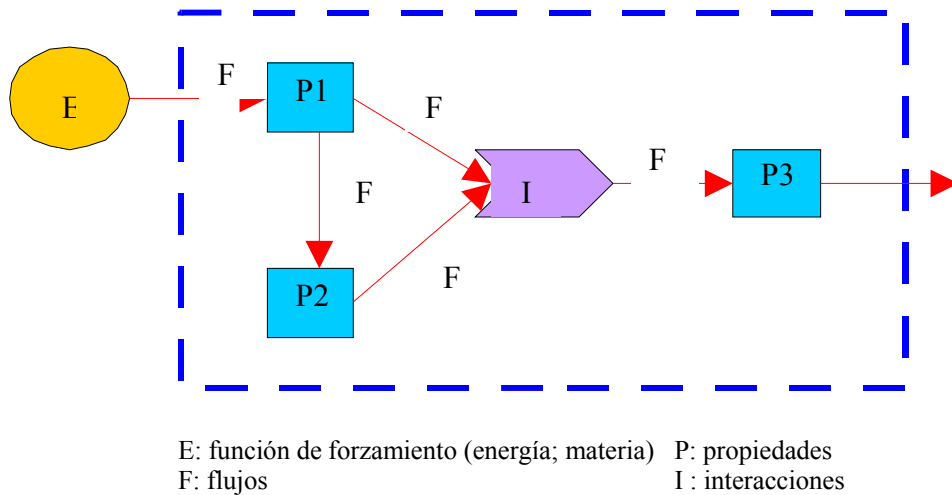


Figura 3. Componentes básicos en la elaboración de modelos de sistemas ecológicos

Los componentes básicos del ecosistemas son la comunidad (biocenosis), el flujo de energía y los ciclos de materia (Figura 4). El flujo de energía es unidireccional; parte de la energía solar que ingresa se transforma en materia orgánica (energía concentrada de mayor calidad) dentro de la comunidad; el resto (la mayor parte) se degrada y pasa a través del sistema para salir en forma de energía calórica de baja calidad. La energía puede ser almacenada para reciclarse o ser exportada posteriormente, pero no puede ser reutilizada. A diferencia de la energía, la materia (agua y nutrientes) puede ser utilizada nuevamente. La eficiencia con que se recicla la materia, así como la magnitud de las entradas y salidas varía según el tipos de ecosistema.

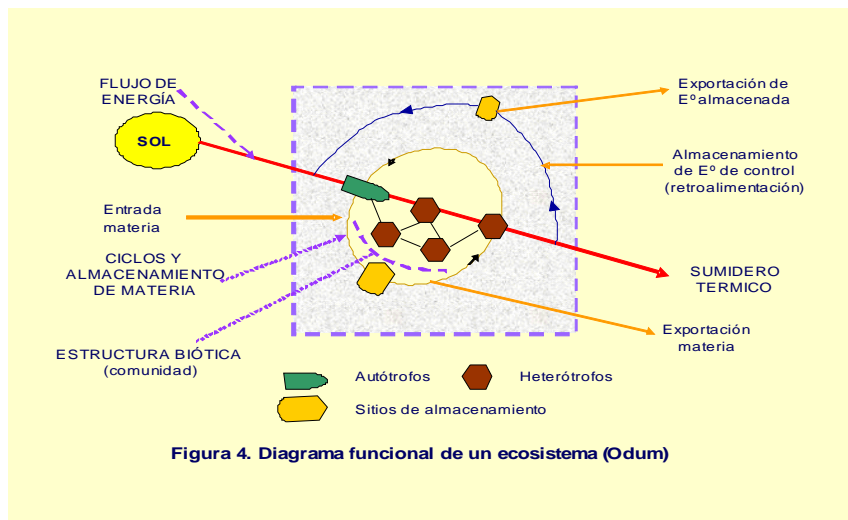


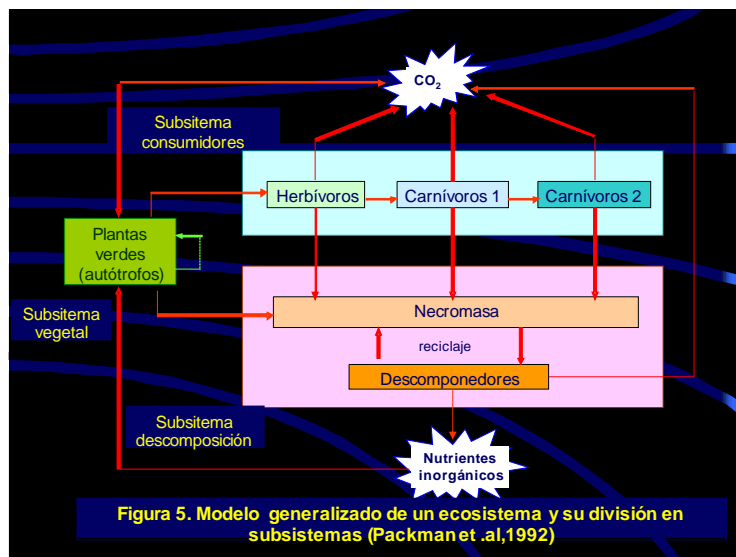
Figura 4. Diagrama funcional de un ecosistema (Odum)

En el diagrama funcional presentado, la comunidad esta representada como una trama alimenticia de autótrofos (plantas verdes) y heterótrofos, relacionados por flujos de energía, ciclos de nutrientes y sitios de almacenamiento. Tal como ocurre con la biósfera, los ecosistemas son sistemas abiertos, es decir experimentan entradas y salidas de energía. También, aunque en grados variables están abiertos al flujo de materiales y a la inmigración y emigración de organismos.

Organización estructural del ecosistema

La forma como los componentes del ecosistema se organizan y ocupan el espacio puede ser enfocada desde diferentes puntos de vista. En términos descriptivos generales es posible caracterizar la estructura considerando los siguientes componentes: sustancias inorgánicas, compuestos orgánicos, aire, agua y sustrato del ambiente (régimen climático y otros factores físicos), productores, macroconsumidores (consumidores primarios, secundarios, terciarios), microconsumidores (descomponedores), cada uno de los cuales puede ser caracterizado mediante diversos atributos o parámetros. También puede representarse la estructura descomponiendo el modelo generalizado de un ecosistema en sus subsistemas, como se aprecia en la Figura 5.

Otro enfoque utilizado para caracterizar la organización de los componentes del ecosistema (Odum) es la estructura trófica (ya esbozada en la figura anterior). De acuerdo a esta visión los ecosistemas poseen dos estratos: i) el estrato autótrofo, conformado por las plantas con clorofila, en las que predomina la fijación de la energía luminosa, el uso de sustancias inorgánicas simples y la síntesis de sustancias orgánicas complejas, y ii) el estrato heterótrofo, constituido por los animales, el suelo y sedimentos, la materia en descomposición, raíces, etc., en los que predomina la utilización, reorganización y descomposición de materiales complejos.

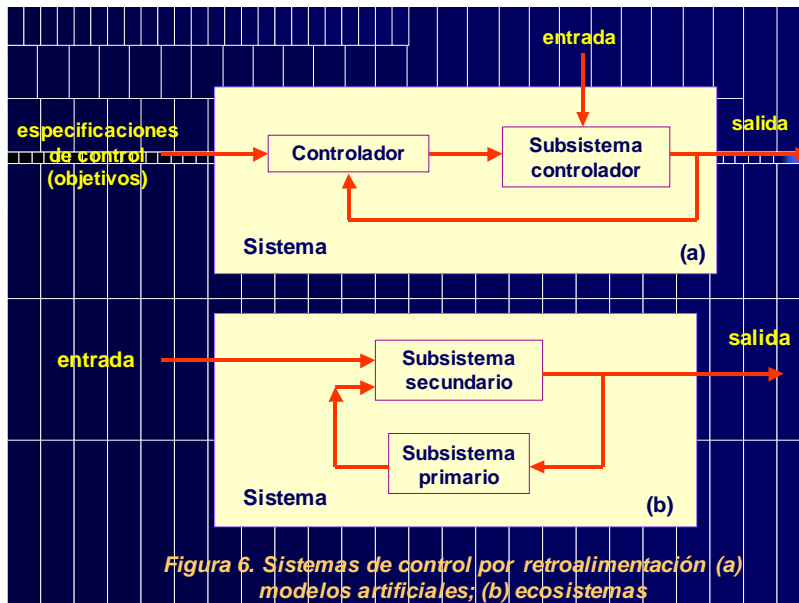


Naturaleza cibernética y estabilidad de los ecosistemas

Como se ha señalado con anterioridad, los ecosistemas, además de presentar flujos de materia y energía, poseen redes de información que incluyen flujos de comunicación física y química, los cuales además de conectar los componentes, dirigen y regulan el sistema como un todo. Basados en estas características, los

ecosistemas pueden considerarse como sistemas cibernéticos. No obstante, a diferencia de los sistemas concebidos por el hombre, donde las funciones de control son externas y específicas, en los ecosistemas estas funciones son internas y difusas.

Los mecanismos de control dependen de las vías de retroalimentación, donde parte del resultado regresa al sistema como entrada de información (Figura 6). Se reconocen dos tipos de retroalimentación: positiva, cuando la entrada de información aumenta o acelera las desviaciones, y negativa, en el caso que las entradas de información contrarrestan la desviación. En los sistemas biológicos los mecanismos de retroalimentación corresponden a los denominados mecanismos homeostáticos.



Se entiende como homeostasis la tendencia de los organismos vivos o sistemas biológicos a mantener un equilibrio dinámico en sus estructuras y procesos a pesar de las variaciones del medio exterior (Dajoz, 1971; Kozlowski et al, 1990). En los ecosistemas, la interacción de los ciclos de materia y flujos de energía, y la retroalimentación de subsistemas generan una homeostasis autorregulada que no requiere de un control externo (descomponedores- almacenamiento y liberación de nutrientes; predator - presa).

Por lo general, el concepto de estabilidad hace referencia a la tendencia de un sistema a permanecer en su condición presente o de retornar a esta a continuación de un disturbio (Kimmins, 1997). Este término ha sido usado con variadas connotaciones, entre las cuales destaca el concepto de resiliencia, el cual hace referencia a la habilidad de un ecosistema para retornar a sus estados iniciales después de un disturbio

4.3 Ciclos de materia y energía

Antecedentes generales

Las interacciones entre los componentes bióticos (plantas, animales y microorganismos) y abióticos (elementos y compuestos inorgánicos, subproductos de la actividad orgánica y de los procesos de descomposición, factores físicos como humedad, viento, radiación solar) del ecosistema se manifiestan a través de los flujos de materia, energía e información. El ecosistema constituye un sistema abierto, donde

hay un ingreso de energía externa (radiación solar) y de materiales (agua, nutrientes y organismos). A la vez, se producen salidas de energía, en forma de calor, y egresos de parte de los materiales.

Para comprender los flujos de materia y energía desde una perspectiva global cabe tener presente los siguientes aspectos:

La principal fuente de energía para el ecosistema es la energía radiante proveniente del sol. Esta energía es utilizada por los organismos autótrofos (productores primarios), los cuales a través del proceso de fotosíntesis convierten la energía radiante en energía química.

La energía incorporada a los productores es sintetizada en compuestos que permiten satisfacer sus procesos metabólicos, así como su crecimiento y desarrollo, perdiendo parte importante de la energía capturada en los procesos de respiración.

Los organismos heterótrofos, a su vez, obtiene su energía a partir de los autótrofos (consumidores), ocupando parte de ella en su metabolismo y crecimiento, y perdiendo la restante por respiración, emisión de calor, etc.

Dentro de los heterótrofos, además de los consumidores (primarios, secundarios y terciarios), se incluyen también los descomponedores, organismos que a través de su actividad mineralizan los restos orgánicos liberando elementos que pueden ser utilizados por los productores. De este modo, cuando la mineralización se hace completa, la energía química almacenada se agota.

El flujo unidireccional de la energía se explica por las pérdidas que ocurren en cada transferencia que tiene lugar a lo largo de las cadenas tróficas y por la eficiencia con que es utilizada en cada eslabón. A diferencia de la energía, la materia, especialmente los nutrientes presentan un comportamiento cíclico. Esto se explica porque las plantas verdes, junto con convertir la energía radiante en energía química, también incorporan diversos compuestos y elementos inorgánicos. Por lo mismo, cuando el consumidor ingiere plantas también está recibiendo nutrientes. En consecuencia, a pesar que la energía disminuye progresivamente en la cadena trófica, los nutrientes no decrecen (la suma se mantiene) y pueden ser reciclados gracias a la acción de los descomponedores.

Así, los procesos ecológicos -flujo energético y la circulación de los nutrientes- que implican interacciones entre el medio físico-químico y el conjunto biótico, constituyen la esencia del funcionamiento de los ecosistemas, siendo condición fundamental el ingreso continuo de energía

Flujo y Balance Energético

Todas las formas de vida y actividades biológicas, así como las relaciones entre los diferentes componentes del ecosistema son acompañadas y controladas por flujos y cambios de energía. Tanto la evolución como la ecología pueden ser visualizadas desde la perspectiva energética. Así, la lucha por la existencia entre organismos es básicamente una lucha por obtener suficiente energía en forma utilizable para sostener y reproducir la vida. En términos similares la abundancia, productividad y distribución de los organismos – temas centrales de la ecología de poblaciones y comunidades- están en última instancia determinadas por la energía disponible.

En términos simples, la energía es definida como la capacidad de efectuar trabajo. Esta existe o se manifiesta en muchas formas, como el calor (energía cinética), luz (radiación), energía química (enlaces

químicas) y electricidad; su comportamiento, que sigue las leyes naturales de la física y la química, puede ser descrito por la termodinámica.

La termodinámica es el estudio de la energía y su conversión entre diversas formas. También se la define como el estudio de las interrelaciones entre calor, trabajo e energía interna de un sistema. En la termodinámica clásica se consideran dos principios o leyes fundamentales:

Primera Ley de la Termodinámica (Conservación de la Energía): La energía puede ser cambiada de una forma a otra pero no puede ser creada o destruida. La cantidad total de materia y energía en el universo permanece constante, cambiando solamente de una forma a otra.

- Segunda Ley de la Termodinámica: Establece que “en todos los intercambios de energía, el estado de energía potencial del sistema siempre será menor que la del estado inicial”; esto porque el calor fluye desde áreas de alta temperatura a áreas de baja temperatura. Este comportamiento también es conocido como entropía, la cual en física es una medida de desorden asociada a la degradación de la energía, que corresponde a la energía no disponible resultante de las transformaciones. Parte de la energía utilizada por el sistema para lograr cambios o efectuar trabajo se convierte en calor y se disipa al medioambiente. De acuerdo a lo indicado por Odum, esta ley también puede expresarse como sigue: “puesto que una fracción de la energía se convierte siempre en energía calorífica no utilizable, ninguna transformación espontánea de la energía en energía potencial tiene una eficiencia de 100%”.

En la termodinámica clásica el término sistema es utilizado sólo para señalar los límites dentro de los cuales se realiza el estudio. Esta noción lleva a la idea de aislamiento respecto al medio. En tal sentido un sistema aislado o adiabático es aquel donde no se producen intercambios de masa ni de energía con el medio.

Puesto que la formulación inicial de la segunda ley consideraba sistemas cerrados que tienden al equilibrio, planteaba dificultades en su aplicación a los organismos, ecosistemas y a la biosfera. En efecto, desde el punto de vista clásico, un sistema aislado evolucionará espontáneamente hacia un estado de equilibrio que corresponde a la entropía máxima. En él, ya no ocurrirían procesos y toda la energía útil ha sido consumida y transformada en inútil. Por lo mismo, en los sistemas cerrados, al no existir nuevos ingresos y almacenamiento de energía de gran utilidad, ni mecanismos de disipación eficientes, habría un incremento continuo de la entropía que conduciría a la desorganización y muerte del sistema.

¿Porque en los sistemas vivos no se llega a la muerte entrópica? Diversos autores (Boltzman, Schödinger) señalan que los sistemas vivos desafían la segunda ley de termodinámica por no constituir cajas cerradas adiabáticas; por el contrario son sistemas abiertos a los flujos de energía y/o materia. En tal sentido, los sistemas vivos se mantienen lejos del estado de máxima entropía “extrayendo continuamente entropía negativa de su medio ambiente”.

De acuerdo a lo señalado por Odum, las células, organismos, comunidades y ecosistemas presentan como característica termodinámica esencial el poder crear y mantener un alto grado de orden interno, es decir una baja condición de entropía. Esta se logra a través de una continua y eficiente disipación de la energía de alta calidad (luz, alimento) hacia una de baja utilidad (calor). Así, en el ecosistema, el orden dentro de la compleja estructura de biomasa que presentan se mantiene por medio de la respiración total de la comunidad, la cual elimina continuamente el desorden hacia fuera del sistema. Por esta razón, es posible señalar que los ecosistemas constituyen sistemas termodinámicos abiertos, no equilibrados, que intercambian materia y energía con el medio en forma ininterrumpida para reducir su entropía interna.

Flujos de materia y energía en los ecosistemas. Cadenas tróficas y pirámides ecológicas

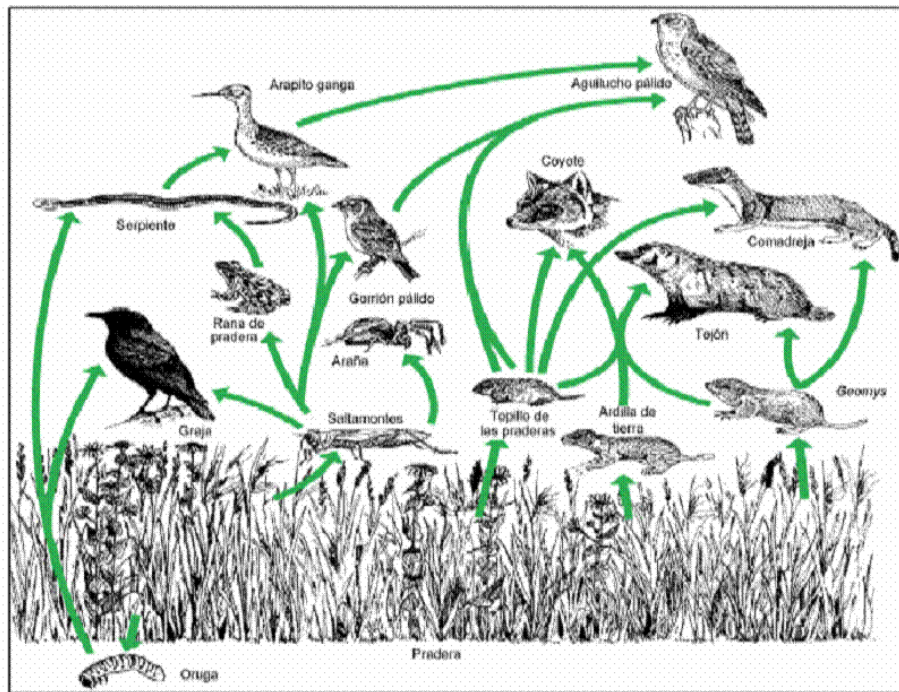
Los organismos presentes en los ecosistemas obtienen los recursos materiales y energéticos necesarios para su mantención y reproducción a través de diferentes vías o mecanismos. La clasificación funcional más conocida es aquella que considera organismos que utilizan fuentes de energía abiótica (autótrofos) y organismos que dependen de fuentes de energía biótica (heterótrofos).

Los organismos autótrofos utilizan fuentes de energía que está disponible en el medio abiótico y que son independientes de las actividades de otros organismos. Los autótrofos son denominados como productores porque ellos producen moléculas orgánicas de alta energía que sirven como fuente energética para los organismos no autótrofos. Dentro de los autótrofos se distinguen dos subtipos de organismos: los fotoautótrofos y los quimioautótrofos. Los primeros, que corresponden a las plantas verdes, utilizan una porción de la energía electromagnética proveniente del sol en los procesos de fotosíntesis. Los quimioautótrofos obtienen su energía de sustancias inorgánicas simples (oxidación de sulfuro a sulfato, de amonio a nitrato, etc., donde se libera energía).

Los organismos heterótrofos son incapaces de utilizar la energía solar o la contenida en los enlaces de sustancias inorgánicas. Por lo mismo, son dependientes de la energía contenida en los enlaces de moléculas orgánicas (carbohidratos, grasa, proteínas) sintetizadas por los autótrofos. Dentro de estos organismos, denominados también como consumidores, se distinguen cuatro subdivisiones: Herbívoros (consumidores primarios), Carnívoros (consumidores secundarios, terciarios o de nivel superior), Omnívoros (que utilizan la energía contenida tanto en plantas como animales) y Saprófitos (descomponedores, detritívoros), los que utilizan la energía contenida en materia orgánica muerta de origen vegetal o animal.

Aunque a primera vista el ecosistema parece ser un conjunto de organismos reunidos al azar, existe una secuencia ordenada de dependencias de energía o de alimentos. Cada organismo obtiene la energía requerida para su sobrevivencia, crecimiento y reproducción de un modo característico. Los aportes para un organismo provendrán de una fuente física particular o de un tipo específico de organismos; a su vez, cada organismo constituirá la fuente de aportes energéticos para otros organismos. Esta secuencia característica de transferencia de energía desde su fuente en los autótrofos y a través de una serie de organismos que consumen y son consumidos recibe la denominación de cadena alimentaria o cadena trófica.

Para comprender adecuadamente las relaciones energéticas del ecosistema en su conjunto hay que tener presente que las cadenas tróficas no son secuencias aisladas, sino que están interconectadas por medio de variadas redes de dependencia. A este patrón de enlace se le denomina red o trama trófica.

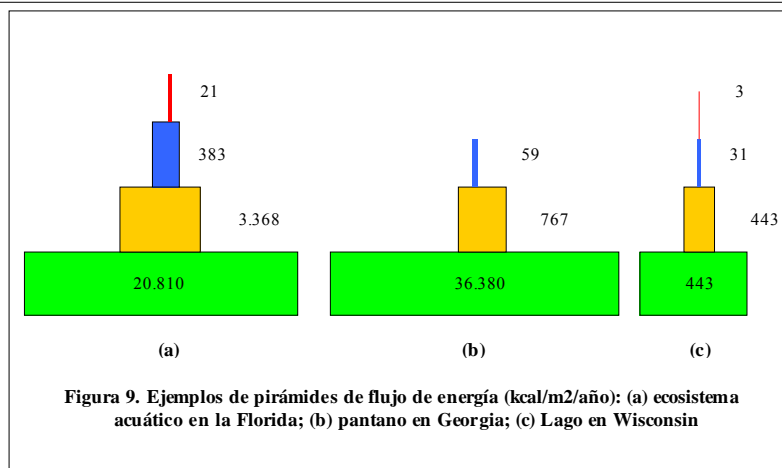
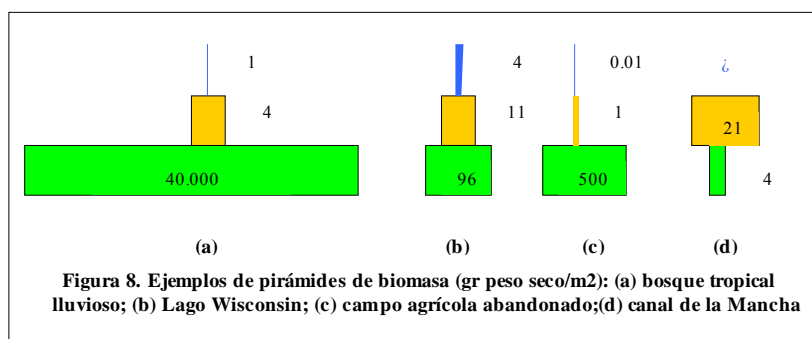
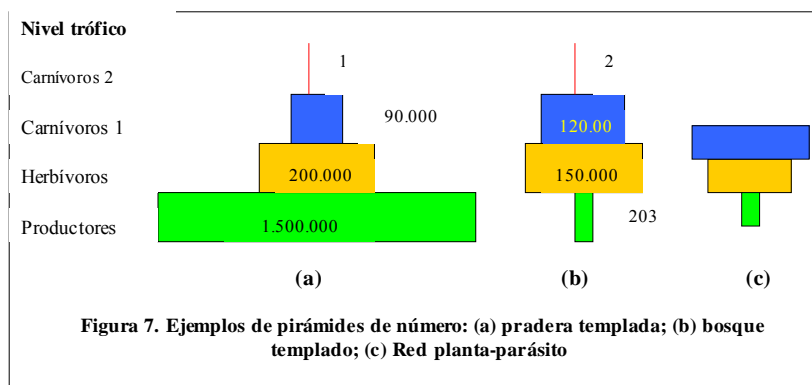


Las figuras relativas a las redes tróficas generalmente sólo constituyen representaciones simplificadas de la realidad, las cuales contienen información taxonómica que permite una comparación fácil de diferentes ecosistemas, pero no entregan información funcional suficiente. Por esta razón, para representar la red trófica como una serie de estados o niveles tróficos en términos de transferencias de energía a través del sistema se emplean las denominadas pirámides ecológicas. Dentro de estas se reconocen las siguientes:

Pirámide de números. Estas consisten en un conjunto de rectángulos que representan los sucesivos niveles tróficos dentro de la red. Cada rectángulo es representado con un área proporcional al número de organismos del correspondiente nivel trófico. La forma adoptada por estas pirámides varía según el tipo de ecosistema (Figura 7).

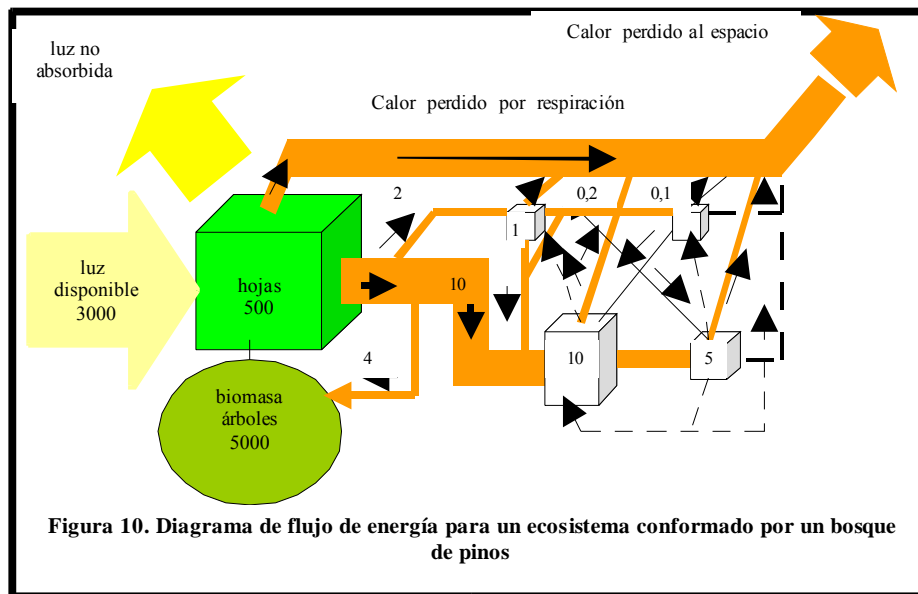
- **Pirámide de biomasa.** En este tipo de pirámide el tamaño de los rectángulos es proporcional a la biomasa o peso de los organismos que ocupan cada nivel trófico (Figura 8). Esta da una visión más segura de la distribución de la energía, facilitando la comparación de la biomasa presente en los distintos niveles y en diferentes ecosistemas.

Pirámide de flujo de energía. Este tipo de pirámide, que representa la velocidad de flujo de energía o la productividad en niveles tróficos sucesivos, es la que proporciona una mejor explicación sobre la naturaleza funcional de las comunidades. En este tipo el área de cada rectángulo es proporcional al flujo de energía que pasa a través de cada nivel trófico. En este caso, debido a la segunda ley de la termodinámica, el área siempre va disminuyendo hacia los niveles superiores (Figura 9).



A objeto de lograr mayores antecedentes respecto a las magnitudes relativas de las diversas vías de transferencia de energía se utilizan los denominados diagramas de flujo de energía. En estos, la biomasa de los distintos niveles se representa por cajas, cuyas uniones muestran las transferencias de energía entre niveles y redes tróficas (Figura 10).

Los diagramas de flujo de energía presentan una situación aparentemente estática de lo que en la realidad es dinámico. No obstante, proporcionan una síntesis muy útil del carácter funcional de un ecosistema. El éxito del manejo de los ecosistemas para la obtención de materiales requiere una comprensión del balance de ingresos y salidas de energía que determina el tamaño de la cosecha. Así, para un ingreso dado de energía fotosintética de los árboles, la biomasa acumulada en ellos dependerá de los flujos de energía de salida por respiración, pérdidas por consumo de herbívoros o las caídas de litera.



Ciclos biogeoquímicos

El concepto de ciclo biogeoquímico se usa para describir la distribución y transporte de materiales, los cuales controlan el recambio y transformación de éstos en los ambientes terrestres, acuáticos y atmosféricos. Estos ciclos describen los movimientos y las interacciones de los elementos químicos esenciales para la vida a través de la geósfera y la biósfera, a través de procesos físicos, químicos y biológicos. Los flujos de los elementos pueden ser abiertos, como el flujo de energía, o cerrados, como el ciclo de la materia.

El ciclo de la materia es una interacción permanente entre la fase biótica y la fase abiótica, es un proceso sin principio ni fin; es decir, un reciclaje combinado y continuo, en una serie de procesos autorregulados; los deshechos son el punto de partida para formar algo nuevo.

Los ciclos biogeoquímicos generalmente se conceptualizan en modelos de compartimentos y se visualizan convenientemente por medio de cuadros y flechas. Entre los 80 elementos que se encuentran en el suelo, sólo una tercera parte son componentes esenciales en plantas y animales. Entre los elementos principales que constituyen la materia orgánica tenemos: C, H, O, N, P, S, mientras que otros cumplen la función de matrices iónicas o estructuras de soporte: Ca, Mg, Si, K, Na, Cl, F). Los metales esenciales traza, se encuentran generalmente como coenzimas (Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Se, Mo). Hay algunos elementos importantes que no se usan por los organismos: uno muy abundante es el aluminio y otros que son muy tóxicos como: Hg>Cd>Pb.

El carbono, azufre y mercurio son elementos que han experimentado perturbaciones significativas de sus ciclos en las últimas 10 generaciones del hombre. Estos ciclos son de interés particular debido a que ellos cubren escalas espaciales grandes e incluyen una interacción de todas las esferas principales (atmósfera, hidrosfera, sedimentos, biosfera, pedosfera, litosfera) y las fases (gas, líquida y sólida) sobre un amplio rango de escalas de tiempo. Además, estos ciclos están fuertemente acoplados entre sí y pueden servir



5. ECOLOGÍA APLICADA

Karen Peña y Sergio Donoso

En este capítulo se analizará el crecimiento y desarrollo de las plantas en función del ambiente en que se desarrollan.

Los árboles como parte integrante de los ecosistemas forestales, se ven afectados por factores bióticos tales como la fauna, patógenos, otras especies vegetales e inclusive por otros árboles de su especie y por factores abióticos como la radiación solar, precipitaciones, humedad del ambiente, nutrientes del suelo, estructura, profundidad y tipo de suelo.

Así, cualquier factor que es capaz de causar una tensión o esfuerzo potencialmente dañino a la planta es definido como estrés. De esta manera, se pueden reconocer distintos tipos de estrés, hídrico, térmico, lumínico, etc.

Las plantas desarrollan adaptaciones que son características de la especie en función del hábitat en que se desarrollan, que puede ser higrófito (húmedo), mesófito, xerófito (seco), de altura, etc. Además, frente a estrés o cambios bruscos en un período reducido de tiempo las plantas presentan respuestas morfológicas y fisiológicas que le ayudan a sobrevivir frente al estrés (hídrico, lumínico, nutricional, salino, etc).

5.1 Plantas, crecimiento y desarrollo en función del ambiente en que viven.

Las variables climáticas definen las áreas de distribución y sobrevivencia de la vegetación. A nivel planta deben cumplirse ciertos requerimientos exigidos por las especies, para lograr una buena adaptación a las condiciones climáticas.

Las plantas requieren de un nivel mínimo de condiciones medioambientales para que comiencen a manifestarse sus procesos fisiológicos. Una vez pasado el nivel óptimo, se produce una respuesta menos favorable, por ejemplo en un rango de temperatura ambiental las plantas se desarrollan de buena forma, pero si se sobrepasa cierto umbral, por ejemplo para planta mesófitas sobre los 35 a 40° C las plantas crecen a una menor velocidad, si la temperatura se incrementa aún más, ella detiene su crecimiento y si la temperatura continúa aumentando, se puede producir la muerte de tejidos e inclusive de la planta.

Las variables que principalmente producen las respuestas antes descritas son la temperatura, la disponibilidad de agua y radiación solar.

De acuerdo a su relación con el agua las plantas pueden clasificarse en tres tipos:

Plantas xerófitas: son aquellas que pueden vivir en lugares muy secos, ya que poseen una o varias características que les permiten sobrevivir durante períodos de sequía. Las características más efectivas son cutícula gruesa (cubierta que permite regular la pérdida de agua desde las hojas), el cierre de estomas (poros a través de los cuales se realiza el intercambio gaseoso con la atmósfera), la reducción de la superficie de transpiración (reducción del tamaño de las hojas, modificación de las hojas en espinas) y el almacenamiento de agua. Un ejemplo de especies de este tipo son las cactáceas y el tamarugo.



Figura 1: *Opuntia* spp., Cactácea. Son originarias de América y las principales poblaciones se encuentran en el sur de Brasil, en Argentina, Bolivia, Chile, Perú, Paraguay y Uruguay. Las Cactáceas son plantas suculentas, con gran capacidad de almacenar agua en sus raíces, tallos y hojas. Se caracterizan por tener en general, una raíz principal carnosa y abundantes raíces secundarias.

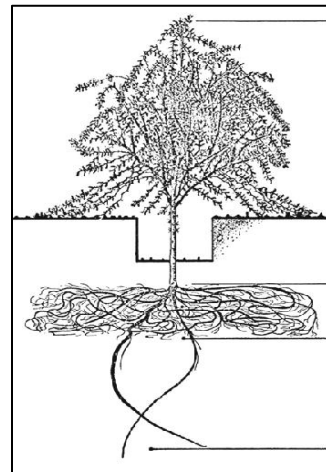


Figura 2: Árbol de Tamarugo y sistema radicular. Este árbol es propio del norte de Chile, en especial de la Pampa del Tamarugal. Se caracteriza por poseer un doble sistema de raíces, uno pivotante o de anclaje, formado por 3 a 4 raíces gruesas, no ramificadas, que alcanzan una profundidad máxima de 7 a 8 m y otro formado por un conjunto de raíces absorbentes que penetran a una profundidad no mayor de 1,5 m.

Plantas higrófitas: son aquellas que viven en el agua o en suelo muy húmedo. El problema para estas especies, es la aireación de sus raíces, puesto que requieren disponer de aire para respirar. Un ejemplo de este tipo de especies son los lirios de agua y los manglares.



Figura 3: Manglar.



Figura 4. Lirios de agua.

Plantas mesófitas: son aquellas que prosperan mejor con un abastecimiento moderado de agua. Carecen de adaptaciones especiales tanto para vivir en regiones con exceso de agua como en regiones áridas o donde el agua es deficitaria. La mayor parte de los árboles pertenecen a este tipo.

Figura 5.



Figura 5: Árbol de espino. Esta especie se encuentra desde la Provincia de Copiapó (III Región) hasta la de Bio-Bío (VIII Región), en las laderas orientales de la Cordillera de la Costa, a través de todo el valle central, hasta la precordillera andina.

Figura 6.



Figura 6. Árbol de Roble. Esta especie se encuentra desde la Provincia de Colchagua (VI Región) hasta la de Llanquihue (X Región), en ambas cordilleras y en el valle central.

Si analizamos las plantas mesófitas, se puede observar con facilidad que en una misma planta es posible encontrar órganos con diferentes tipos de morfología, como son las hojas de luz y las hojas de sombra.

Hojas de luz: son aquellas que crecen bajo una alta exposición al sol, es decir permanentemente están iluminadas. Son corrientemente, de tipo coriáceo, es decir, son poco flexibles, más bien gruesas y su consistencia se asemeja al cuero. Esto se debe a que la alta intensidad de luz estimula la formación de más capas de células, entre estas se destacan las células de parénquima de empalizada en el tejido del mesófilo y de más capas epidermales (ver figura 7). El aumento de número de corrida de parénquima de empalizada, se produce para que la planta pueda hacer un mejor aprovechamiento de la radiación solar que incide sobre la hoja para realizar fotosíntesis y evitar daño oxidativo por el exceso de radiación que recibe diariamente.

Hojas de sombra: son aquellas que crecen en la parte más interna de la copa de los árboles, por lo tanto reciben muy poca radiación directa. Se caracterizan por ser mucho más grandes y más delgadas o membranosas, poseen más espacios intercelulares y tejido esponjoso que las hojas de sol. Además poseen un color más oscuro, lo cual es una estrategia para poder aprovechar la escasa radiación que incide sobre ellas y transformarla a través de la fotosíntesis. (ver figura 8).



Figura 7: Hoja de sombra de peumo



Figura 8: Hoja de luz de peumo

La radiación solar (luz) es un factor ambiental que cambia continuamente y en forma natural, tiene cuatro aspectos que controlan el crecimiento y desarrollo de los vegetales, ya que es fuente de energía, fuente de calor y fuente de información para los vegetales.

Fuente de energía ya que a través del proceso fotosintético las plantas transforman la energía radiante en energía química (azúcares).

Fuente de calor que es muy importante para que los vegetales se desarrollen adecuadamente, para una gran cantidad de vegetales las temperaturas óptimas van de los 20 a 30 °C.

Fuente de información ya que a través de fotorreceptores la planta puede saber que época del año es, si esta sola o con otras plantas, si es día o noche, si debe florecer o botar hojas entre otra información.

Las características de la radiación que reciben las plantas son:

Irradiancia que se la cantidad de fotones que llegan por unidad de superficie (cm^2) y por unidad de tiempo (min)

Composición espectral o longitudes de ondas van desde el infrarrojo pasando por el espectro visible hasta la radiación UV.

Dirección de donde viene la radiación incidente en la hoja esta cambia según la época del año y según la latitud y longitud.

Duración diaria de la radiación que también cambia según época del año, latitud y longitud. Tiene relación con cuantas horas día y cuantas horas de oscuridad hay en el día.

Actividad N°1: Reconocimiento de características morfológicas de especies forestales de acuerdo a las condiciones ambientales de su hábitat natural.

- **Descripción:** A partir de muestras frescas y de herbario, los alumnos deberán reconocer las diferencias morfológicas de distintas especies forestales y asociarlas a las características del hábitat natural en el que ellas se desarrollan. Para complementar esta actividad, es posible que los alumnos visiten el arboretum de la Facultad.

- **Material disponible:** material de herbario y fresco, visita al arboretum.

- Tiempo estimado de duración: 45 minutos

5.2 Efectos del estrés hídrico sobre la morfología y anatomía de plantas de especies forestales.

Estrés es definido como cualquier factor que es capaz de causar una tensión o esfuerzo potencialmente dañino a la planta. De esta manera, se pueden reconocer distintos tipos de estrés, hídrico, térmico, lumínico, etc.

La falta de agua o restricción hídrica modifica la anatomía, morfología y fisiología de las plantas, con reducción general del tamaño de la planta y de la superficie de la hoja; aumenta la cutinización (depositación de una sustancia impermeable y cerosa, llamada cutina en las capas exteriores de las paredes celulares en la superficie de semillas, hojas y tallos jóvenes), la pilosidad (recubrimiento por una densa capa de pelos blancos y lanosos que aíslan a la planta de las temperaturas extremas y reflejan los rayos solares, evitando así el máximo el absorción de calor), la densidad de la nervadura (tejido conductor encargado de la distribución de agua y sales inorgánicas a través de la hoja) y el grosor de las hojas; disminuye y afecta la apertura y cierre de los estomas, reduce la fotosíntesis y la superficie sintetizadora, también disminuye la expansión de hojas y flores y los movimientos de la planta.

Déficit hídrico en las plantas

La sequía es una de las limitaciones ambientales que afecta principalmente la distribución de las especies vegetales y su desarrollo. Los efectos del déficit hídrico sobre la fisiología de las plantas varían en función de la especie y su grado de tolerancia al fenómeno, y también en función de la magnitud de la falta de agua y de la rapidez con la que experimenta la carencia de ella.

La resistencia a la sequía es la capacidad que tienen las plantas para soportar períodos de déficit hídrico. Esta capacidad es una característica compleja y existen tres mecanismos para enfrentar los períodos de sequía. Dentro de éstos se encuentran:

Los mecanismos de escape, se presentan en plantas de gran plasticidad, con un desarrollo fenológico rápido, es decir estas plantas en un período de tiempo muy breve su semilla germina, la planta crece, produce órganos reproductivos, se produce la fecundación, genera semillas y muere. Por lo tanto estas plantas adaptan su ciclo vegetativo y reproductivo a la disponibilidad de recursos y a las condiciones climáticas.

Un ejemplo de especies que utilizan este mecanismo de escape, son las plantas del desierto florido, que tiene la habilidad de desarrollarse y cumplir su proceso reproductivo en pocas semanas (Figuras 9 y 10).



Figura 9: Desierto florido (III y IV Región).



Figura 10: Chinita, flor del desierto florido.

Los mecanismos que evitan o retrasan la pérdida de agua de los tejidos de la planta, para evitar la pérdida de turgor necesario para realizar los procesos fisiológicos básicos para su desarrollo. La estrategia es incrementar al máximo la captación de agua y reducir al mínimo sus pérdidas, a través entre otros de producir raíces aumentar la cantidad de raíces y que estas crezcan muy profundas en el suelo, disminuir la cantidad de hojas y con ello reducir la cantidad de luz que reciben.

Un ejemplo característico de este mecanismo es el del cactus, planta perenne que tiene tallos carnosos redondos o aplanados y una superficie áspera; es capaz de almacenar grandes cantidades de agua en su tallo, el cual se adelgaza durante períodos de sequía, y cuando caen lluvias ocasionales se vuelve a ensanchar debido a la incorporación del agua que almacenará por otro período.

El tallo de los cactus transforma sus hojas en espinas para evitar la deshidratación; éstos contienen gran cantidad de tejido que constituye verdaderas reservas de agua. Las espinas también le sirven para defenderse de los animales del desierto que intentan tomar su agua para sobrevivir.

Los mecanismos de tolerancia, son aquellos que a pesar de que los tejidos de la planta pierdan su turgor, ella puede seguir realizando sus funciones vitales. Luego, la resistencia a la sequía está asociada a que la planta pueda mantener su funcionamiento a pesar de tener un potencial hídrico bajo. Este mecanismo se divide en dos tipos;

a) Los destinados a mantener las células de las hojas turgente, es decir con una buena cantidad de agua, para ello utilizan dos opciones, realizar un ajuste osmótico (modificar la cantidad de solutos en la célula) o un ajuste elástico (modificar el comportamiento de la pared celular).

b) Los que permiten la tolerancia a la deshidratación (tolerancia protoplasmática).

La sequía afecta rápidamente a los procesos relacionados con la turgencia celular y, particularmente, el crecimiento de los meristemas (región donde se inicia el crecimiento y a partir de la cual se forman todos los tejidos de la planta). Si la sequía persiste, o la magnitud de la misma es muy acentuada, también se ven afectados otros procesos fisiológicos. Entre ellos, cabe destacar el cierre de los estomas, que conduce a un descenso de las tasas de fotosíntesis y a una disminución del transporte de agua desde el suelo hacia las hojas. Ello a su vez, implica una disminución del transporte de los elementos absorbidos en la raíz (nutrientes), hacia el resto de la planta.

De acuerdo a lo anterior, resulta conveniente referirse a los efectos que produce el déficit hídrico dentro de la planta, a nivel del transporte de agua, fotosíntesis, crecimiento y la forma como crece la planta o como se distribuye la biomasa. Respecto a este último término “biomasa”, corresponde al peso seco de los órganos vivos, es decir, los órganos se secan hasta extraer toda el agua y luego se pesan y ese valor corresponde a la biomasa. En el caso de las plantas normalmente, la biomasa se separa en biomas de hojas, de ramas, tronco y raíces. La suma de todos ellos entrega el valor de biomasa total de la planta.

Crecimiento y distribución de biomasa en condiciones de déficit hídrico

El equilibrio hídrico interno de la planta controla los procesos fisiológicos y las condiciones que determinan la cantidad y la calidad del crecimiento de las plantas. La disponibilidad de agua puede alterar en gran medida la cantidad de hojas de las plantas, también conocido como área foliar, la tasa de fotosíntesis, la forma como crece el árbol y por consecuencia, la productividad de la planta.

Varios autores han determinado modificaciones debido a la falta de agua. Donoso y Ruiz (2001), observaron en plantas de eucalipto, que una menor disponibilidad de agua en el suelo, produce una disminución del crecimiento en altura y diámetro de la planta.

En un estudio realizado en plantas algarrobo, Villagra y Cavagnaro (2006) encontraron una disminución de la biomasa total, en la biomasa de hojas, tallos y raíces en las plantas sometidas a estrés hídrico.

Delatorre (1996), observó que tanto la cantidad de raíces como el área foliar de plantas de algarrobo de dos años, disminuyen con el déficit hídrico, siendo la última variable la más afectada. Probablemente esto es una respuesta de adaptación de las plantas, a fin de disminuir el área foliar y así las pérdidas de agua por transpiración.

La distribución de biomasa, crecimiento y área foliar bajo condiciones de sequía ha sido ampliamente estudiada en cultivos agrícolas. En un estudio realizado en *Barleria lupulina*, planta arbustiva de ciclo perenne, se encontró que el estrés hídrico afectó la distribución de asimilados (Paz *et al.*, 2003).

Recientes investigaciones realizadas en especies nativas de Chile central, han establecido que Quillay (*Quillaja saponaria*) y Peumo (*Cryptocarya alba*), frente a condiciones de restricción hídrica, modifican la relación que existe entre la biomasa aérea (hojas, ramas y tronco) y la biomasa radicular (raíces gruesas y finas). Presentando las plantas que crecieron bajo restricción hídrica una menor proporción de biomasa aérea en relación al sistema radical. Esto se explica como un mecanismo para protegerse de la pérdida de agua y a la vez de incrementar la proporción de raíces para capturar agua en el suelo (Luna, 2006 y Aguirre, 2007)

Actividad N°2: Reconocimiento de los efectos fisiológicos provocados por el estrés hídrico en plantas de especies forestales.

- **Descripción:** Los alumnos deberán reconocer el efecto fisiológico del déficit hídrico en las plantas. Esto se llevará a cabo a partir de la medición del potencial hídrico en plantas sometidas a déficit hídrico y plantas bien regadas, para lo cual se utilizará la bomba de Scholander.

- **Material disponible:** Plantas de boldo, peumo y quillay sometidas a estrés hídrico y bien regadas.

- Tiempo estimado de duración: 30 minutos

Actividad N°3: Reconocimiento de los efectos morfológicos provocados por el estrés hídrico en plantas de especies forestales.

- **Descripción:** Utilizando plantas sometidas a déficit hídrico, los alumnos deberán reconocer su efecto sobre las plantas con respecto a plantas mantenidas bajo riego permanente. Esto se llevará a cabo a partir de una descripción visual y física de las plantas.

Para esto, y utilizando instrumentos como regla y pie de metro, los alumnos deberán medir la altura de las plantas, diámetro de cuello, espesor, ancho y largo de hoja y largo y diámetro de raíz, además de contar el número de hojas por planta y describir sus características.

- **Material disponible:** Plantas de boldo, peumo y quillay sometidas a estrés hídrico y bien regadas.

- Tiempo estimado de duración: 60 minutos.

Anatomía foliar en condiciones de déficit hídrico

De acuerdo a Hill *et al.* (1964), la estructura de la hoja influye sobre la intensidad de la transpiración. El papel desempeñado por la epidermis es particularmente efectivo en la reducción de la transpiración puesto que, gracias a la cutícula, constituye una barrera casi infranqueable para la pérdida de agua.

En las plantas expuestas a condiciones que determinan una transpiración excesiva, se desarrolla frecuentemente una doble capa de células epidérmicas, o bien una cutícula más gruesa, especialmente sobre la cara superior de la hoja. Las plantas perennifolias (que siempre tienen hojas) presentan por lo general hojas muy cutinizadas. En general, cuanto más floja es la estructura de la hoja, más fácilmente pierde agua debido a una mayor superficie de transpiración. Las hojas xerofíticas generalmente poseen un mesófilo muy compacto (ver figura 11).

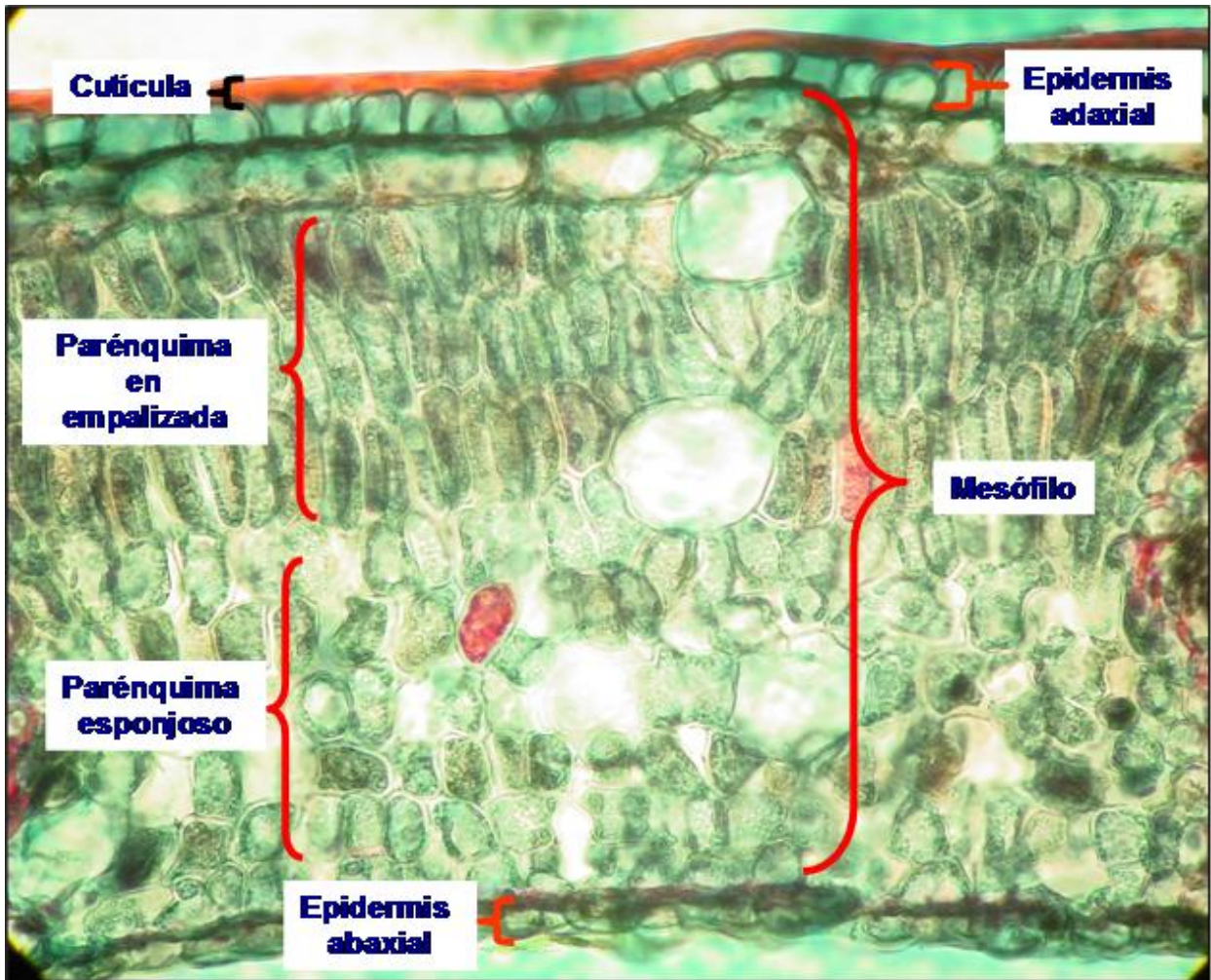


Figura 11: Sección transversal de una hoja de peumo.

En un estudio realizado para determinar el efecto del estrés hídrico en la anatomía de hojas de rebrotes de *Eucalyptus camaldulensis* de diferentes zonas climáticas, son que las células epidérmicas tienden a desintegrarse y que se produce una menor diferenciación entre las células del parénquima de empalizada y el esponjoso (ver figura 11).

Estudios realizados en especies nativas (Peumo y Quillay), muestran el efecto anatómico en las hojas de la restricción hídrica como se puede observar en Peumo en las figuras 12 y 13, y en Quillay en las figuras 14 y 15.

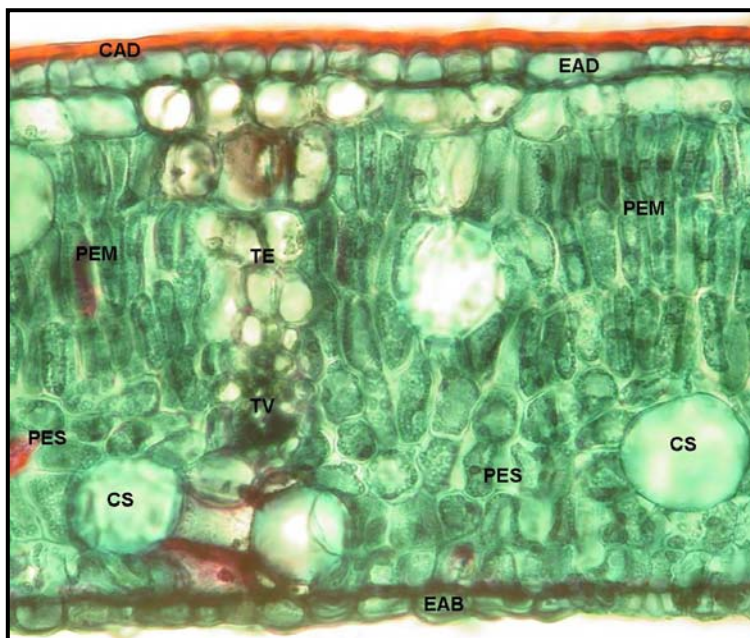


Figura 12. Corte transversal de la hoja de peumo mantenida bajo riego permanente (40X/zoom 4). Cutícula adaxial (CAD); epidermis adaxial (EAD); parénquima de empalizada (PEM); parénquima esponjoso (PES); epidermis abaxial (EAB); tejido vascular (TV); tejido esclerenquimático (TE); células secretoras (CS); cristal drusa (CD).

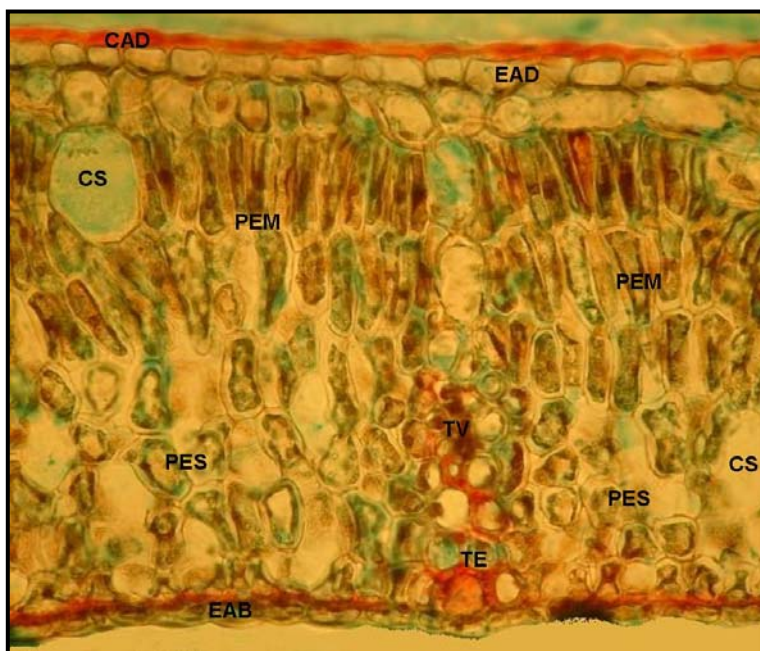


Figura 13. Corte transversal de la hoja de peumo sometida a restricción hídrica controlada (40X/Z3). Cutícula adaxial (CAD); epidermis adaxial (EAD); parénquima de empalizada (PEM); parénquima esponjoso (PES); epidermis abaxial (EAB); tejido vascular (TV); tejido esclerenquimático (TE); células secretoras (CS).

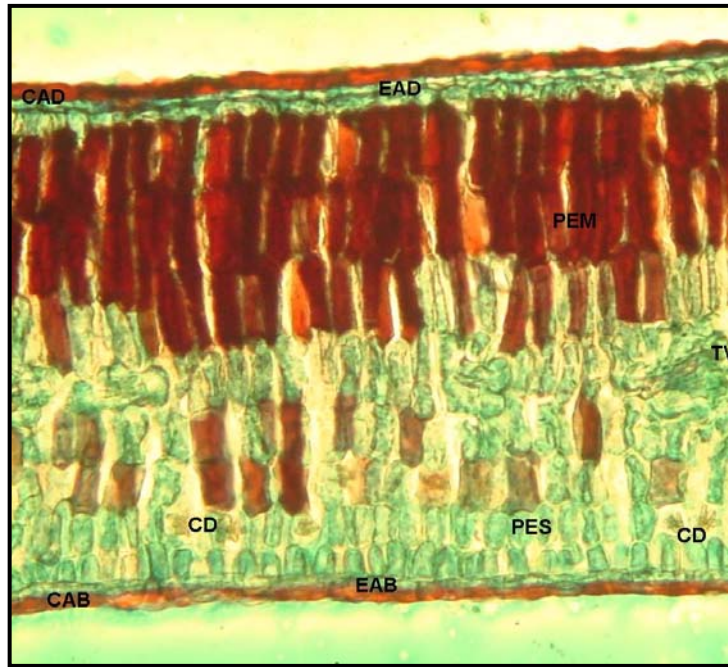


Figura 14. Corte transversal de hoja adulta de quillay mantenida bajo riego permanente (10X/Z6). Cutícula adaxial (CAD); epidermis adaxial (EAD); parénquima de empalizada (PEM); parénquima esponjoso (PES); epidermis abaxial (EAB); cutícula abaxial (CAB); tejido vascular (TV); cristal drusa (CD).

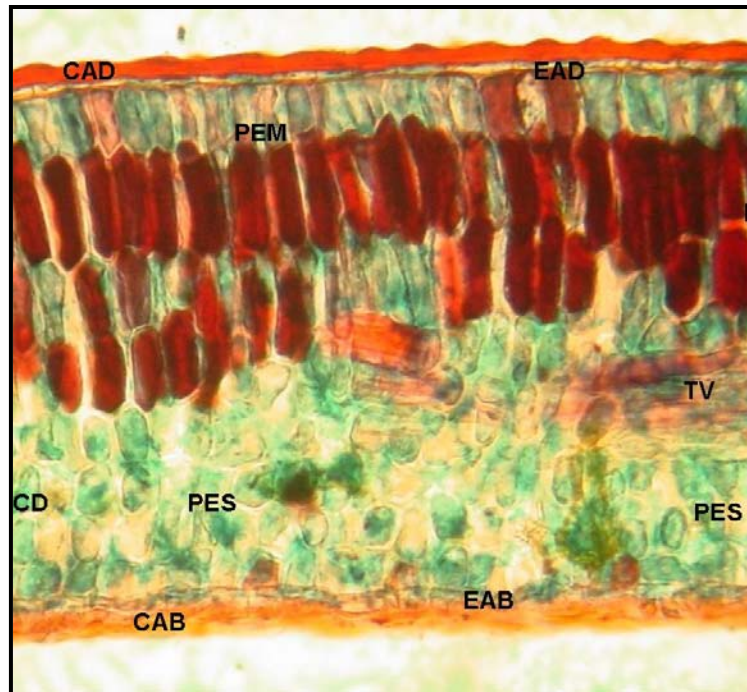


Figura 15. Corte transversal de hoja adulta de quillay sometida a restricción hídrica controlada (10X/Z9). Cutícula adaxial (CAD); epidermis adaxial (EAD); parénquima de empalizada (PEM); parénquima esponjoso (PES); epidermis abaxial (EAB); cutícula abaxial (CAB); tejido vascular (TV); cristal drusa (CD).

Actividad N°4: Reconocimiento de los efectos anatómicos provocados por el estrés hídrico en órganos foliares de distintas especies forestales.

- **Descripción:** Utilizando preparaciones microscópicas y microscopios ópticos, los alumnos podrán identificar los elementos anatómicos de la hoja (cutícula, epidermis, tejidos parenquimáticos, etc), y reconocer las diferencias que presentan hojas de plantas sometidas a déficit hídrico con respecto a plantas mantenidas bajo riego permanente.

- **Material disponible:** preparaciones anatómicas obtenidas a partir de ensayos de déficit hídrico de plantas jóvenes de boldo, peumo y quillay.

- Tiempo estimado de duración: 30 minutos.

5.3 Efectos morfológicos y de crecimiento en plantas sometidas a daños o disturbios

Además de los factores ambientales que condicionan el desarrollo de las plantas, están los daños o disturbios, que las afectan físicamente. Entre éstos se encuentran los incendios, los derrumbes, el daño que provocan los animales que consumen las plantas o “ramoneo”, etc.

Al igual que frente a las condiciones de estrés ambiental, las plantas poseen distintos mecanismos de respuesta frente a los daños o disturbios, siendo uno de los más característicos, la capacidad de rebrotar, la cual consiste en la posibilidad de regenerar órganos vegetativos a partir de las raíces, tallos o tubérculos subterráneos, capacidad que poseen un gran número de especies nativas chilenas (ver figura 16).



Figura 16: Rebotes de canelo y rebotes de quillay

Actividad N°5: Reconocimiento de los efectos provocados por distintos tipos de daño en plantas de distintas especies forestales.

- **Descripción:** Utilizando plantas de quillay y pinos se evaluará la respuesta que presentan estas especies al daño provocado por el corte del ápice de las plantas y de la disminución parcial de su biomasa foliar.

- **Material disponible:** plantas de quillay y pinos sometidas a daño y plantas mantenidas sin daño.
- Tiempo estimado de duración: 30 minutos.

Efecto del déficit nutricional en las plantas

Las necesidades nutricionales de las plantas se separan en dos grandes grupos: Los compuestos orgánicos que constituyen el 90 a 95% de la biomasa del vegetal (peso seco o peso de las paredes) y son el carbono, el oxígeno y el Hidrógeno que los obtiene de la atmósfera y del agua absorbida por las raíces. Los otros elementos son los elementos inorgánicos que constituyen entre un 5 a 10% de la biomasa del vegetal y la mayoría son extraídas desde el suelo o solución nutritiva.

Muchas de las sustancias inorgánicas que la planta extrae del suelo se emplean como materias primas a partir de las cuales se elaboran alimentos y otros importantes constituyentes del vegetal. Hasta la fecha se han encontrado 17 elementos que son esenciales para la planta, se les denomina esenciales porque sin ellos los vegetales no pueden desarrollarse completamente y no completan su ciclo de vida. Estos elementos esenciales se dividen en macronutriente y micronutrientes según la concentración que necesitan los vegetales pero no por ser micronutriente es menos esencial es igualmente esencial que un macronutriente. Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, carbono, oxígeno e hidrógeno y los micronutrientes son; hierro, manganeso, zinc, cobre, boro, cloro, níquel y molibdeno. Además de los elementos esenciales existen los elementos beneficiosos y otros

Si estos elementos no están presentes o están en exceso en el suelo o solución nutritiva generan problemas para los vegetales ya que no pueden desarrollarse adecuadamente y existen algunos síntomas que podemos observar en los vegetales que nos indican que la planta está con deficiencia nutricional o toxicidad. Los síntomas que observemos dependerán de la función que tenga el elemento dentro del vegetal y también del grado de movilidad de este elemento es decir si es fácil o no que se mueva de un órgano a otro.

Dentro de los síntomas más visuales y fáciles de reconocer son:

Clorosis que es que la hoja se pone de un color verde claro o amarillento, esta puede ser clorosis interveinal, parcial o total dependiendo del elemento faltante o que está en exceso.

Manchas y necrosis que es observar manchas de color blanco o café o muerte del tejido.

Acortamiento de entrenudos es decir entre rama y rama se acorta el trozo de tallo.

Enanismo la planta se mantiene de poca altura

Color verde muy intenso es generalmente por exceso de algunos elementos minerales

Fósforo: es parte de muchos compuestos orgánicos del vegetal, y su falta interfiere con la división celular normal, lo que dificulta el crecimiento. Es particularmente importante en diversas transferencias de energía como las que ocurren en la fotosíntesis y respiración, además, parece incrementar el desarrollo de la raíz y en muchas plantas acelera el desarrollo y maduración.

Nitrógeno: se utiliza principalmente en la síntesis de las proteínas. Es indispensable para el crecimiento, particularmente el de las partes aéreas de las plantas. Este elemento es un constituyente de la clorofila, por lo que su déficit se manifiesta en el color amarillo del follaje. Por otro lado, el exceso de nitrógeno puede generar un gran crecimiento vegetativo, determinando entre otras cosas la formación de tallos débiles.

Actividad N°6: Discusión General.

- **Descripción:** Los alumnos deberán exponer y comentar lo observado en las actividades anteriores con el fin de relacionar los resultados de las actividades prácticas con los antecedentes teóricos entregados.

- Tiempo estimado de duración: 30 minutos

6 GEOGRAFÍA DE LOS RECURSOS NATURALES

*Roberto Garfias Salinas
Pablo Zúñiga Navarrete*

6.1 Conceptos preliminares

La Geografía, es una ciencia que estudia la superficie terrestre, la localización y distribución de sus características físicas y culturales, los patrones espaciales o lugares que forman, y la interacción de estas características con los seres humanos (Columbia University Press, 2005).

Básicamente la geografía se aplica bajo dos enfoques, los cuales son complementarios el uno del otro, la geografía física y la geografía humana (Columbia University Press, 2005).

La geografía física estudia el espacio natural terrestre a través de la descripción de los diferentes elementos que componen el medio natural, como el agua, suelo, relieve, clima, vegetación y fauna (Columbia University Press, 2005).

La geografía humana estudia lo referente al uso de la superficie terrestre por el ser humano, analizando las modificaciones que este genera en el medio ambiente, dada las diversas necesidades de los grupos sociales (Columbia University Press, 2005).

Recurso se define como: “conjunto de elementos disponibles para resolver una necesidad o llevar a cabo una empresa” (RAE, 2007). Análogamente, un recurso natural, es un elemento que está disponible de manera natural o artificial en el medio ambiente¹, el cual es susceptible de ser utilizado para satisfacer las necesidades de índole material o espiritual del ser humano (CONAMA, 2007)

Por lo tanto, la Geografía de los Recursos Naturales, es una rama de la ciencia geográfica que caracteriza, de manera estática y/o dinámica, la superficie terrestre en función de los recursos naturales que el ser humano tiene a disposición para satisfacer sus necesidades, cuyos procesos de aprovechamiento (procesos mineros, pesqueros, forestales, agrícolas, entre otras) pueden transformar el medio ambiente.

6.2 Clasificación de los recursos naturales

Los recursos naturales se pueden clasificar combinando tres criterios: disponibilidad del recurso en el tiempo, tasa de regeneración y tasa de consumo (figura 1).

¹ Medio Ambiente: el sistema global constituido por elementos artificiales o naturales de naturaleza física, química o biológica, socioculturales y sus interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige o condiciona la existencia y desarrollo de la vida en sus múltiples manifestaciones (CONAMA, 2007).

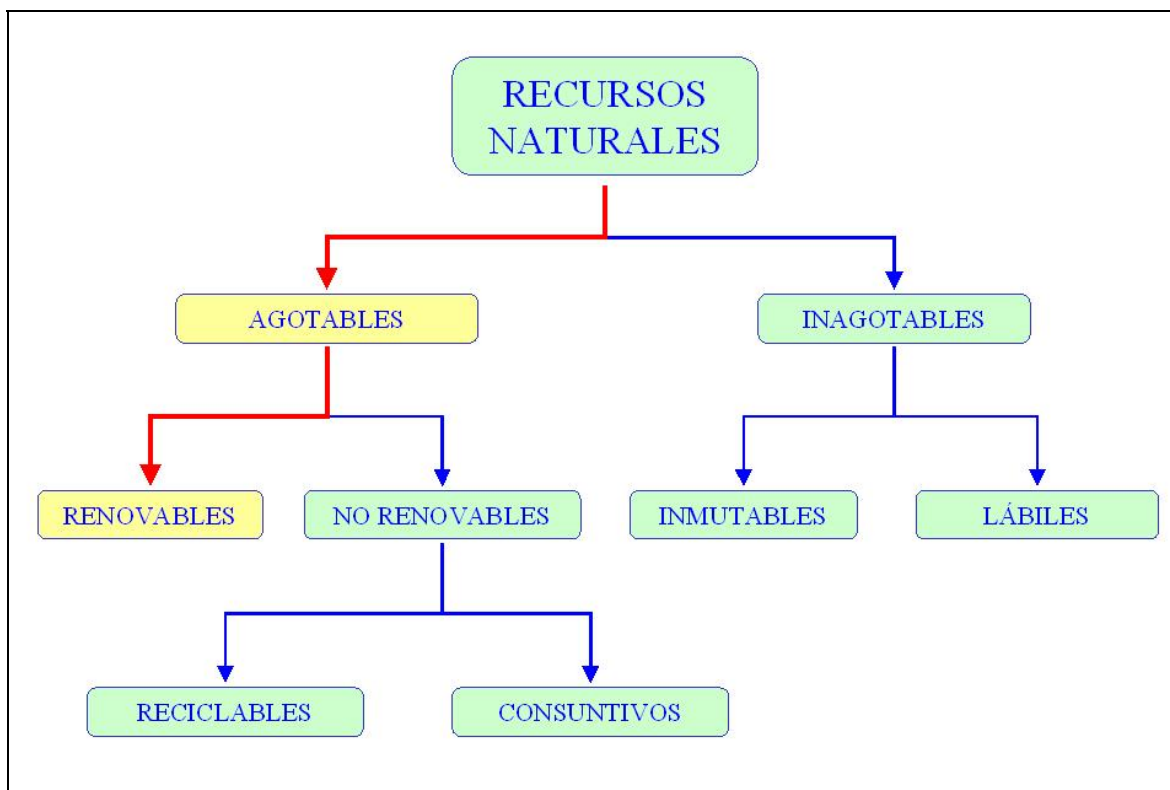


Figura 1. Representación esquemática de la clasificación de los recursos naturales según disponibilidad en el tiempo, tasa de regeneración y tasa de consumo.

Fuente. CONAMA, s.f.; Husch y Ormazábal, 1996.

Recursos Naturales Inagotables

Son aquellos que se mantienen inalterados a escala de tiempo humana (inmutables), pero que por efectos naturales o antrópicos pueden ser modificados en su calidad (lábiles o frágiles). Está referido principalmente a fuentes de energía. Según la Comisión Nacional de Energía (2007) se tiene:

- Energía hidráulica (ríos y olas).
- Energía solar (radiación solar).
- Energía oceánica (mareas).
- Energía eólica (vientos).
- Energía orgánica (biomasa).
- Energía geotérmica (géiser)

También son recursos naturales inagotables la atmósfera terrestre y el paisaje, los cuales pueden ser modificados debido a contaminación o a catástrofes naturales, como lo son los incendios.

Recursos Naturales Agotables

Según la tasa de regeneración del recurso natural se clasifican en renovables y no renovables.

Recursos No Renovables

Los recursos no renovables son aquellos que no se regeneran a escala de tiempo humana y de ser empleados, ya no es posible volver a utilizarlos en su calidad original.

Según la tasa de consumo de la sociedad, estos recursos no renovables, pueden dividirse en dos grupos:

- **Consuntivos:** sólo pueden ser utilizados una vez. A este grupo pertenecen los combustibles fósiles (petróleo), combustibles minerales (fuentes de energía atómicas), metales no metálicos (cal, yeso, sal), entre otros.
- **Reciclables:** pueden ser utilizados varias veces, si la calidad lo permite, en caso contrario se debe reemplazar una porción del recurso. Los recursos mineros como metales (aluminio, plata, cobre) y piedras preciosas integran este grupo.

Recursos Renovables

Son aquellos recursos naturales cuya tasa de regeneración es mayor a la de su consumo, integran fundamentalmente a los sistemas bióticos y abióticos dinámicos, es decir, la cantidad y calidad del recurso varía en el tiempo.

Estos recursos son sensibles al manejo cultural que se les proporcione, si este se lleva a cabo de manera adecuada, el recurso proporcionará un rendimiento sostenido de bienes y servicios, de lo contrario se degradará, inclusive pudiendo llegar a agotarse completamente. Los principales recursos son:

- Recursos hidrológicos (ciclo del agua).
- Recursos edáficos (ciclos biogeoquímicos).
- Recursos forestales (formaciones naturales y exóticas).
- Recursos marinos (peces, moluscos, algas, etc.).
- Recursos pecuarios (fauna silvestre).
- Recursos agrícolas (cultivos, fruticultura, etc.).

6.3 Recursos naturales renovables

Recursos Hídricos

Generalidades

El agua es un elemento indispensable para la vida sobre la tierra, a pesar de su gran importancia para la existencia y conservación de los procesos vitales de la naturaleza, cada vez es más escasa y contaminada.

Aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie terrestre están cubiertas por agua, principalmente salada de los océanos. De esta cantidad de recursos sólo un 0.61% de agua está en forma disponible y utilizable por el ser humano (Husch y Ormazábal, 1996).

Los recursos hídricos tienen una influencia directa en el clima, ya que los océanos estabilizan la temperatura terrestre, al controlar la cantidad de radiación solar que se refleja por la nieve, hielo, nieve y cursos de agua al espacio.

El agua dulce, es un recurso que se recicla constantemente, en forma prioritaria por las precipitaciones que caen sobre la superficie. Se estima que un 65% del agua precipitada vuelve a la atmósfera debido al proceso de evaporación, el porcentaje restante se infiltra en el suelo, recargando las napas freáticas, ríos y lagos u otro cuerpo de agua, pudiendo llegar al mar (Husch y Ormazábal, 1996).

Recursos Hídricos en Chile

Las características fisiográficas de Chile han determinado la amplia variabilidad del recurso, pasando desde una zona norte, con problemas de desertificación, a una zona sur con alta disponibilidad del recurso, como por ejemplo el río Baker en la región de Aysén².

² Actualmente en esta zona se tiene proyectada una central hidroeléctrica de gran envergadura, la cual generaría una gran cantidad de energía que permitiría seguir creciendo económicamente a nuestro país, pero el tema está sometido a debate aún, donde los diferentes actores sociales, políticos, económicos y ambientales están dando sus puntos de vista.

La gran variabilidad del recurso hídrico en el territorio nacional, se traduce en términos de disponibilidad de agua per cápita, a nivel agregado (incluyendo glaciares), por sobre 800.000 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$), aunque este valor tiene un porcentaje mucho menor de aprovechamiento, según sea la región del país. Por ejemplo, en la zona central la disponibilidad de agua se encuentra en un intervalo de 10.000 a 40.000 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$), y en contraste con la zona norte del país se disminuye ostensiblemente a entre 500 y 1.000 ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{año}$), cifras que son restrictivas para el desarrollo, agravado aún más por la actividad minera que es motor de la economía nacional y una industria que demanda una alta cantidad de agua (Salazar, 2003; Matus et al, 2004).

Según estimaciones de la Dirección General de Aguas, para el año 1996, el 27% de la demanda de agua era para uso consuntivo, es decir, para el agua potable que consume la población, la que se utiliza para riego y la que se usa en procesos industriales. El otro 70% se demanda para uso no consuntivo, como por ejemplo la generación de energía hidroeléctrica (Matus et al, 2004).

Las mayores demandas de agua se localizan entre la región Metropolitana y del Bío Bío, la cual demanda un 77% del agua disponible para uso consuntivo (Matus et al, 2004).

Según el Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la Dirección General de Agua (DGA), las proyecciones del consumo de agua hacia el año 2017, se estima que:

- Todas las regiones del país incrementarán su consumo de agua de uso consuntivo, siendo notable en la zona centro y sur, a excepción de la XI y XII regiones, cuyo uso será primordialmente riego de cultivos agrícolas.
- En la zona norte, si las tasas de aprovechamiento siguen igual o incrementándose debido al sector industrial y a la minería, la reducción del recurso hídrico puede llegar a límites inaceptables, situación que restringiría el consumo humano y el riego de terrenos agrícolas.

Recursos Edáficos

Generalidades

El suelo es un recurso natural de alta relevancia para todos los seres vivientes terrestres, en él se sustenta la producción de la mayor parte de la alimentación animal y vegetal. Las funciones naturales y culturales que tiene son:

- Integrar los procesos biogeoquímicos, es decir, los elementos químicos, incluyendo los esenciales de la vida, fluyen a través de vías características, desde el entorno ambiental al organismo y viceversa, estas vías se denominan ciclos biogeoquímicos (Odum y Barret, 2006).
- Sustenta la vida humana y sus actividades, hecho que tiene una importancia relativa según sea la época de la historia, la civilización, el desarrollo, etc. (Husch y Ormazábal, 1996).

6.4 Uso del suelo en Chile

Los cambios en el uso del suelo empezaron con la invención de la agricultura, y se han intensificado conforme pasan los siglos, hasta los últimos 100 años, donde los procesos de migración campo – ciudad, crecimiento demográfico, expansión urbana y tecnificación de las actividades productivas lo han acelerado.

Tabla 1. Superficie (ha) de Chile según el uso del suelo.

Uso	Superficie (ha)	Participación (%)
Áreas urbanas e industriales	182.184,2	0,2
Terrenos Agrícolas	3.814.362,6	5,0
Praderas y Matorrales	20.529.673,1	27,1
Bosques	15.637.232,5	20,7
Humedales	4.498.060,7	5,9
Áreas desprovistas de vegetación	24.727.789,5	32,7
Nieves y glaciares	4.646.659,9	6,1
Cuerpos de agua	1.226.828,9	1,6
Áreas no reconocidas	399.769,4	0,5
Total	75.662.560,8	100

Fuente. CONAF – CONAMA, 1999.

La superficie total del territorio nacional alcanza a 75,6 millones de ha, de las cuales un 32,7 % son áreas desprovistas de vegetación, 27,1% praderas y matorrales y un 21% corresponde a bosques. De 15,6 millones de ha de bosque, el 85,9% son de bosque nativo, 13,5% de plantaciones forestales y 0,6% de bosques mixtos (tabla 1).

Las áreas desprovistas de vegetación, que tiene una participación del 32,7% de la superficie nacional, se concentra principalmente en la zona norte del país, destacándose en orden de importancia la región de Antofagasta, Atacama y Tarapacá con un 43,8%, 18% y 16% del total respectivamente (CONAF – CONAMA, 1999).

Las praderas y matorrales, 27,1 % de participación de la superficie nacional, se concentran de manera homogénea en las regiones XII, IV y III, con un 15% de participación promedio de la superficie para esta categoría (CONAF – CONAMA, 1999).

Las regiones más australes del país, Aysén, Magallanes y Antártica Chilena, poseen las mayores extensiones de humedales, nieves y glaciares del país (CONAF – CONAMA, 1999).

Los terrenos con suelos agrícolas se concentran en un 51% de la superficie de la categoría de uso, entre la región del Bío Bío y de la Araucanía (CONAF – CONAMA, 1999).

Las aguas continentales se localizan significativamente, en orden de importancia, en la X, XI y XII con una participación de la superficie para esta categoría de 32%, 26,9%, y 26,8% respectivamente (CONAF – CONAMA, 1999).

Las regiones más industrializadas del país, en orden de importancia, son la Metropolitana, Valparaíso y del Bío Bío con un 33,1%, 15,2% y 13,7% de participación de la superficie de esta categoría (CONAF – CONAMA, 1999).

6.5 Suelo y Erosión

La formación del estrato superficial del suelo, de apenas dos y medio cm de espesor, es un proceso que ha llevado varios siglos a la naturaleza, sin embargo, la acción del hombre sumada a la de algunos agentes erosivos, ha destruido esta capa en menos tiempo (Hartwig, 1994).

La erosión es una enfermedad del ecosistema que afecta al suelo destruyendo su estructura y horizontes, extrayendo algunos de ellos, los cuales son arrastrados fuera de él. Como consecuencia de lo anterior, el suelo deja de funcionar normalmente, deteriorando sus atributos productivos. Hay dos mecanismos fundamentales que la desencadenan, uno es el exceso de demanda y, por otro lado, la presión de la socio-estructura (Contreras, Gastó y Cosío, 1986).

La remoción del suelo es una alteración que corresponde al movimiento físico del material edáfico, producto de actividades que implican una eventual exposición del suelo mineral, determinando procesos de desplazamiento y remoción del suelo. (Gayoso y Alarcón, 1999)

“Solamente el río Bío Bío ha llevado estos últimos cien años la tierra equivalente a 5.000 millones de metros cúbicos, la que cargada en camiones de 10 toneladas, parachoques con parachoques, formaría una hilera que alcanzaría para darle 12 vueltas al mundo”. (Contreras, citado por Hartwig, 1994).

6.6 Recursos Marinos

Aspectos Generales

La totalidad de los océanos conforman el más grande ecosistema natural del planeta, por lo tanto tiene una influencia directa e importante sobre los ecosistemas que se distribuyen en las zonas continentales, afectando el clima mundial, la navegación, las migraciones de especies, absorben entre un 30% y un 40% del anhídrido carbónico emitido por los humanos (Husch y Ormazábal, 1996).

Los océanos contienen una gran diversidad de especies, la cual es vital para la vida en el planeta. Conforme ha pasado el tiempo, se dejan ver los efectos acumulados de malas prácticas, como lo son:

- Contaminación del mar y destrucción de hábitat de fauna, producto de cambios en el medio físico producto de actividades humanas (por ejemplo: pozos petroleros y pesca por arrastre).
- Extracción exagerada o sobreexplotación de recursos marinos, reduciendo a niveles peligrosos la población de algunas especies o bien causando extinción de otras (por ejemplo: caza de ballenas y focas en los mares australes de Chile).
- Introducción accidental de especies exóticas que causan daño al ambiente natural (por ejemplo: competencia por alimentos de la especie exótica salmón con peces nativos de Chile).

Se estima que aproximadamente tres cuartas partes de las reservas pesqueras de los océanos están siendo explotadas a una presión superior al rendimiento sustentable (Odum y Barret, 2006).

Recursos Marinos en Chile

El océano pacífico tiene una superficie de 165 millones de km², abarcando el 45% del total de la superficie ocupada por los océanos en el globo terráqueo (Husch y Ormazábal, 1996).

El territorio marítimo de Chile se extiende a 12 millas de sus costas, abarcando una superficie de 120.827 Km². La zona marítima económica se inserta hasta 200 millas desde la costa, generando una superficie de 3.150.739 Km² (Figura 1).

En Chile se distinguen tres zonas que se caracterizan por poseer recursos marinos en abundancia (Figura 1; Errázuriz, 1998), estas son:

- Arica a Tongoy, abundante en peces y mariscos
- Los Vilos a Constitución, menor abundancia de peces y mariscos que la zona anterior.
- Talcahuano a Magallanes: abundante en mariscos.

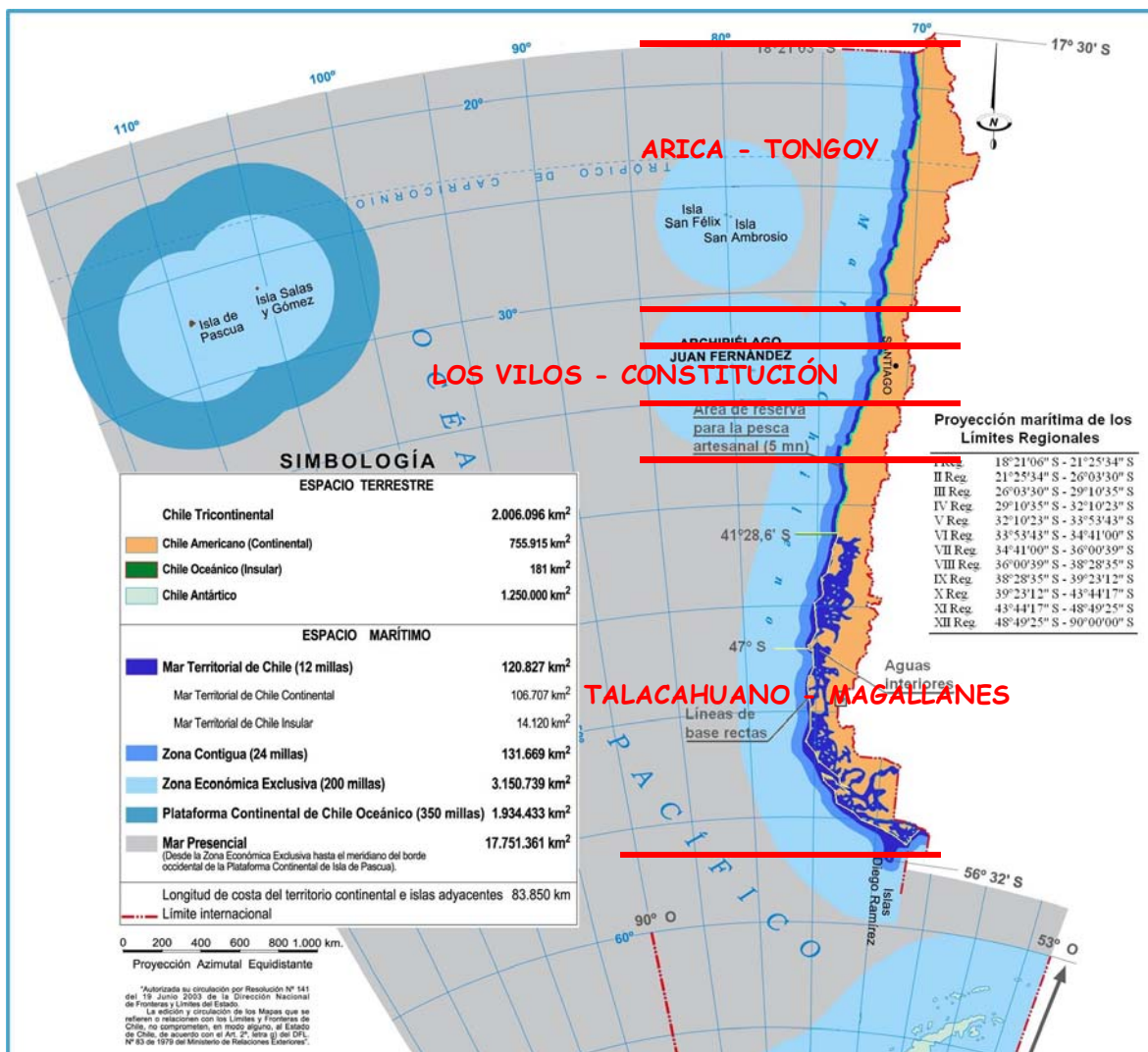


Figura 1. Perspectiva latitudinal y longitudinal del territorio marítimo de Chile.

Fuente. Subsecretaría de Pesca, 2007.

Los productos marinos de mayor relevancia que se extraen son (Errázuriz, 1998):

- Peces: se estima alrededor de 225 especies de peces, de las cuales alrededor de 56 tienen importancia comercial. Las más abundantes son el jurel, la anchoveta, la sardina común y española.
- Mariscos: los de mayor abundancia son los erizos, almeja, culenque, ostión, camarón, cholga y chorito. Otros de importancia económica, pero con restricciones de aprovechamiento son el loco y la ostra, moluscos, y la centolla, langosta, jaiba y langostino, que son crustáceos.
- Mamíferos marinos: los de interés comercial, pero con peligro de sobreexplotación son las ballenas, cachalotes y lobos marinos.
- Algas: esta producción es relevante económicamente, ya que se utiliza en muchos casos como materia prima de otros productos industrializados no comestibles de mayor valor agregado,

como por ejemplo cosméticos. Algunas especies abundantes son cochayuyo, chasca, chascón, chicones del mar, huiro, luce, luga-luga y pelillo.

El mayor volumen de pesca corresponde a la pesca industrial, cuyos productos son destinados principalmente a la producción de harina y aceite, a la conservería y congelados. Se ubican mayormente en la X, VIII y V regiones de Chile (Errázuriz, 1998).

6.7 Recursos Agropecuario y Forestal

Clases de Suelos

En Chile, los suelos para uso silvoagropecuario son clasificados según la capacidad que tiene la tierra para producir, ordenándose en clases de suelos según la adaptabilidad relativa a ciertos cultivos, considerando las limitaciones y riesgos de manejo. Las clases de suelo son ocho, y están ordenadas por números romanos según sus crecientes limitaciones y riesgos a la erosión por su uso (Peralta, 1976). Por ejemplo:

- Suelos de clase I – IV: suelos con potencial agrícola, son arables.
- Suelos de clase V – VIII: suelos no aptos para cultivos (no arables), tienen potencial ganadero (clase V, VII) y forestal (todas las clases y la clase VIII sólo para objetivos de protección).

Distribución Geográfica en Chile

La distribución geográfica de los recursos naturales renovables agropecuarios y forestales tiene una localización marcada, si bien estos recursos dependen intrínsecamente del suelo y el agua, también el clima y la topografía definen la diversidad de producciones.

Tabla 2. Distribución de la superficie (ha), a nivel regional, de las explotaciones agropecuarias y forestal.

Regiones	Número de Explotaciones	Superficie (ha)	Participación (%) por Región	
			Agropecuaria	Forestal
I de Tarapacá	1.974	343.522	95%	5%
II de Antofagasta	2.000	720.368	100%	0%
III de Atacama	2.920	3.773.422	100%	0%
IV de Coquimbo	15.774	4.001.351	100%	0%
V de Valparaíso	17.725	1.381.041	81%	19%
VI de O'Higgins	25.248	1.570.535	72%	28%
VII del Maule	41.880	2.679.461	70%	30%
VIII del Bío-Bío	62.793	3.138.351	57%	43%
IX de La Araucanía	58.051	2.586.772	75%	25%
X de Los Lagos	35.700	3.860.192	65%	35%
XI Aysen	3.991	4.203.417	85%	15%
XII de Magallanes y Antártica	1.376	5.711.045	94%	6%
Región Metropolitana de Santiago	12.803	1.302.419	87%	13%
XIV de Los Ríos	16.524	1.637.426	60%	40%
XV de Arica y Parinacota	2.495	203.128	99%	1%
Total país	301.254	37.112.450	82%	18%

Fuente. INE, 2007.

Las regiones que tienen mayor extensión agropecuaria de Chile, y que registran mayor número de explotaciones, son la XII y XI, con producción ovina, equina y bovina, y las regiones III y IV, con producción de frutales y hortalizas. Aunque no es despreciable la producción agrícola que se concentra entre la V y la VIII regiones, las cuales producen la mayor parte de los alimentos consumidos en los grandes centros urbanos, ocupando superficies más reducidas, debido a que su proceso es más intensivo (Tabla 2; Errázuriz, 1998).

Los recursos forestales, que registran mayor número de explotaciones, se concentran de norte a sur en las regiones VII – XI, terrenos que han sido ocupados por plantaciones forestales, recuperando terrenos improductivos para la agricultura y ganadería (Tabla 2).

En los capítulos siguientes se explican con más detalle los recursos naturales renovables agropecuarios y forestales.

Recursos Agropecuarios

Recursos Naturales Agrícolas

Las tierras arables de uso agrícola se clasifican en tierras de cultivo (anuales o permanentes) y praderas artificiales. Por otro lado, las tierras no arables de uso agrícola integran a las praderas mejoradas y naturales (Errázuriz, 1998).

La superficie regada se encuentra entre las regiones I y IX, y se podría generalizar que estos terrenos son los de mejor calidad, justificado por las condiciones climáticas, es decir, precipitaciones en temporada invernal y altos rendimientos de cultivos (Errázuriz, 1998).

Los principales cultivos, según la superficie que ocupan, con los denominados “cultivos tradicionales” son (Errázuriz, 1998):

- Cereales anuales: trigo, avena, arroz y maíz.
- Cultivos de Chacra: leguminosas y papas.
- Cultivos Industriales: raps, maravilla, remolacha, tabaco, entre otros.

La producción de trigo y maíz se distribuye de manera más homogénea entre las regiones VII y IX. La producción de arroz se ubica en las regiones VI, VII y VIII, dada principalmente por los requerimientos de condiciones climáticas de la especie (Errázuriz 1998). Entre los usos del trigo se encuentra el pan, el cual constituye la principal forma de consumo en el mundo, seguido muy por debajo de pastas y tallarines, elaboradas con semolina del trigo candela (Faiguenbaum, 2003).

Entre Chillán y Chiloé, se encuentra la mayor producción de avena en el país, en donde se concentra más del 95% de la superficie sembrada con éste cereal (Faiguenbaum, 2003).

El más importante cultivo de chacra es la papa, en cuanto a superficie ocupada y a volumen de producción. Los frejoles o porotos se producen entre la IV y la IX regiones, y junto a las papas, es parte importante de la dieta de los chilenos (Errázuriz, 1998).

La rotación de Leguminosas de grano con Cereales puede contribuir de diferentes formas: aporte de nitrógeno y fósforo, control de malezas gramíneas, interrupción del ciclo de enfermedades, mejoramiento de las condiciones físicas del suelo, entre otras (Mera y Rouanet, 2003).

Los cultivos industriales, ocupan una menor superficie con respecto a los cereales y a los cultivos de chacra, pero su valor económico es mayor, ya que están destinados a ser materia prima de productos elaborados con alto valor agregado, tal como son los aceites vegetales y el azúcar (Errázuriz, 1998).

La producción frutícola con huertos industriales, es una actividad económica de gran relevancia, ya que la demanda del mercado exterior es creciente de año en año. Esta actividad abarca desde la V a la VII regiones, sin ser excluyente con frutas que se dan en regiones más al norte, como las papayas entre la I y la IV región, y más al sur en la VIII región, los cerezos (Errázuriz, 1998).

Los productos de exportación más importantes de la producción frutícola son las uvas, manzanas, peras, kiwis, ciruelas, nectarines y duraznos (Errázuriz, 1998).

Recursos Naturales Pecuarios

La ganadería está asociada a formaciones vegetales de praderas naturales o mejoradas, cuya calidad y extensión es variable a lo largo del territorio nacional (Errázuriz, 1998).

Algunas clases de ganado se ubican en localidades específicas, tendiendo a asociarlas a regiones en particular (Errázuriz, 1998), por ejemplo:

- Ganado caprino, se asocia a los valles de la IV región.
- Los auquénidos, son relacionados con pueblos originarios del altiplano (I y II regiones).
- El ganado ovino se localiza principalmente en la zona de Magallanes.
- El ganado bovino es asociado con la IX y X regiones del país
- La ganadería porcina, se concentra en la región Metropolitana, el manejo es más intensivo que en los casos anteriores.
- En cuanto al ganado equino, se distribuye por todo el país, debido a que es el medio de transporte y trabajo del campesino.

Recursos Forestales

Bosque Nativo y Plantaciones Forestales

La mayor superficie de bosque nativo del país se concentra en la undécima región de Aysén, de los Lagos y de Magallanes participando con un 36,1%, 26,9% y 19,5% respectivamente, de la superficie nacional de bosque nativo (Tabla 3). Los tipos forestales predominantes en estas regiones son Roble – Raulí – Coihue, Siempreverde, Lengua y Coihue de Magallanes.

Tabla 3. Porcentaje de la superficie regional de Chile (ha) cubiertas de bosque nativo y plantaciones forestales.

Región	Bosque Nativo	%	Plantaciones	%	Total	%
I	7,299.8	0.1%	26,975.2	1.3%	34,275.0	0.2%
II	0.0	0.0%	3,411.2	0.2%	3,411.2	0.0%
III	0.0	0.0%	0.0	0.0%	0.0	0.0%
IV	1,610.0	0.0%	1,839.9	0.1%	3,449.9	0.0%
V	15,312.9	0.1%	65,012.8	3.1%	80,325.7	0.5%
RM	93,454.0	0.7%	4,884.1	0.2%	98,338.1	0.6%
VI	118,013.2	0.9%	100,743.6	4.8%	218,756.8	1.4%
VII	370,329.9	2.8%	413,335.5	19.5%	783,665.4	5.1%
VIII	786,207.6	5.9%	939,420.2	44.3%	1,725,627.8	11.2%
IX	908,501.0	6.8%	359,906.2	17.0%	1,268,407.2	8.2%
X	3,608,873.0	27.0%	196,356.6	9.3%	3,805,229.6	24.6%
XI	4,815,532.3	36.1%	7,108.8	0.3%	4,822,641.1	31.2%
XII	2,625,468.7	19.7%	10.5	0.0%	2,625,479.2	17.0%
total	13,350,602.4	100.0%	2,119,004.6	100.0%	15,469,607.0	100.0%

Fuente. CONAF – CONAMA, 1999.

Con respecto a las plantaciones forestales, estas se ubican en orden de importancia en las regiones VIII, VI y IX con una participación del 44,3%, 19,5% y 17% respectivamente de la superficie nacional de plantaciones (Tabla 3). Las especies plantadas en monocultivos predominantes en estas regiones son *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*.

Sistema Nacional de Áreas silvestres Protegidas por el Estado

Si bien en 1907, se crea la Reserva Nacional Malleco, la Reservas Forestales Villarrica, Alto Bío Bío y Llanquihue en 1902, los Parques Nacionales Benjamín Vicuña Mackenna (1925, desafectado cuatro años después) y Vicente Pérez Rosales (1926, con vigencia hasta hoy día), no es hasta 1984, que se instaura por la Ley N° 18.362 el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), el cual “corresponde a aquellos ambientes naturales, terrestres o acuáticos que el Estado protege y maneja para lograr su conservación” (Benoit, 2004).

El SNASPE, cubre aproximadamente el 19% de la superficie de Chile Continental, 14 millones de hectáreas. Si se analiza la eficiencia de su cobertura, se encuentran deficiencias en la zona central y norte del país, por la ausencia de un 18,8% de las 85 formaciones vegetacionales descritas para este y un 50% de exceso de presentación de las que si se representan en el sistema (Benoit, 2004).

Sector forestal y Economía

En la actualidad, el sector forestal chileno adquiere cada vez mayor relevancia en el proceso de desarrollo del país. El aporte al Producto Interno Bruto del país en los últimos cinco años ha sido en promedio de 3.3% (INFOR, 2005a). Representa al segundo sector exportador de Chile, después de la minería, participando con un 11% de la exportaciones nacionales, con un retorno de 3.396 millones de US\$ FOB en el año 2004 (INFOR, 2005a). La Industria Forestal demanda 120.000 empleos directos, relacionados con las actividades de silvicultura y extracción, industria primaria e industria secundaria. Por otro lado, la ocupación indirecta del sector forestal (prestaciones de servicios) es de 300.000 personas (INFOR, 2005b). El parque industrial forestal está constituido por más de 1.000 empresas de transformación primaria y más de 5.000 empresas de remanufactura y productos finales, donde la gran mayoría es de tamaño pequeño y mediano (PROCHILE, 2003).

El consumo total de la industria de la madera se concentra en las plantaciones exóticas de rápido crecimiento, absorbiendo un 80% de *Pinus radiata*, un 13% de *Eucaliptus sp* y 2% de especies nativas, concentrado este último en bosques de Lenga (*Nothofagus pumilio*), renovales de Raulí (*Nothofagus alpina*) y Coihue (*Nothofagus dombeyi*) primordialmente (INFOR, 2005c). Esta situación a permitido bajar paulatinamente la presión sobre el bosque nativo, con fines industriales, en las últimas tres décadas. El 63% de la leña que se consume a nivel nacional es extraída de las formaciones vegetales nativas y el 37% de las plantaciones forestales (Katz, Stumpo y Varela, 2000).

6.8 Problemas ambientales en Chile relacionados con los recursos naturales renovables

Espinoza, Gross y Hayek (1994), en el estudio “Percepción de los problemas ambientales en las regiones de Chile”, analizan los problemas que están asociados a fenómenos de contaminación, que deterioran los recursos naturales y el ambiente construido. Las situaciones mencionadas anteriormente pueden afectar a los componentes del medio ambiente, tales como el aire, agua, suelo, flora y fauna, por nombrar algunos.

Tabla 4 . Importancia relativa promedio de los problemas ambientales, con escala de cero (problema irrelevante) a cinco (problema de máxima importancia), que deterioran los Recursos Naturales, por componente afectado y por región de Chile.

Componente	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	RM
Aire						4		3					
Agua	3.8	4.2	2.9	3.7		3.0		3.9	3.4	2.8	3.3	3.5	3.2
Tierra (Suelo)	3.7		3.3	3.9	3.5	3.7	3.2	3.5	3.1	3.2	3.2	3.2	3.7
Fenómenos naturales			2.1	3.8	3.7				3.0	1.9	2.9		4.0
Flora	3.7	3.6	3.1	3.9	3.5	4.1	3.3	3.4	3.5	3.5	3.9	3.4	3.9
Fauna	3.3	3.9	3.7	4.1	3.8	3.7	2.7	3.7	2.9	3.3	3.5	3.6	3.6
Recursos Naturales	3.5		3.1	4.1	3.6		3.5			3.4	3.6	3.9	4.1
Infraestructura y servicios	3.5		3.0	3.6	3.3		3.5	3.1			2.8		
Estructura Interna				3.4	3.7		2.6						4.5
Equipamiento								2.6					
Valores Formales y culturales				2.8		3.5		2.2	2.4			2.1	
Flora y Fauna	3.1	3.7	2.8										
Flora o Fauna												3.4	

Fuente. Adaptado de Espinoza, Gross y Hayek, 1994.

Como se puede observar en la tabla 1, la percepción de los expertos sitúa a los problemas ambientales, en la mayoría de los casos, desde una importancia moderada a muy importante, dejando entrever que la satisfacción de las necesidades de la sociedad está muchas veces en contraposición con la conservación de los recursos naturales.

A continuación se detallará en forma sintética los componentes naturales que se perciben más afectados por problemas medioambientales, según el mayor puntaje relativo promedio que indique la tabla 1 (valor en color rojo).

Un problema ambiental muy importante, para la primera y segunda regiones, está deteriorando el medio natural, específicamente el componente agua (tabla 1). Esta problemática está asociada a deficiencias en la conservación del recurso, produciendo un déficit del agua para riego de cultivos agrícolas, debido a:

- Contaminación de las aguas superficiales.
- Bajo nivel y salinización de las napas freáticas, ubicadas en la Pampa del Tamarugal y el Valle de Azapa, generado por la extracción excesiva de agua.
- Uso y Manejo inadecuado del recurso agua.

La tercera región tiene un importante problema en la conservación de la fauna (tabla 1). El problema se extiende por toda la región, inclusive poniendo en peligro de extinción a algunas especies debido principalmente a:

- La caza indiscriminada de fauna (por ejemplo, guanaco y nutria de mar).
- Destrucción de hábitat de aves colonizadoras.
- Contaminación de animales debido a piscinas con residuos mineros, cianuros.
- Comercialización indiscriminada de especies de fauna en peligro de extinción y de animales marinos declarados en veda por las autoridades.

- Pesca industrial indiscriminada a través de métodos inadecuados, como la pesca de arrastre, que puede poner en peligro de extinción a algunas especies.
- Pesca artesanal no controlada e indiscriminada.

La conservación de los recursos naturales, en especial la fauna, están siendo afectados en la cuarta región, producto del:

- Agotamiento de los recursos naturales por el efecto de la explotación irracional en actividades agrícolas de secano, mineras e industriales.
- Degradación de las cuencas hidrográficas, generada fundamentalmente por la disminución progresiva de la cubierta vegetal del suelo.

La quinta región tiene afectado la conservación de la fauna (tabla 1), producido por el efecto combinado de los siguientes problemas:

- Extracción indiscriminada de fauna en la zona litoral de la región.
- Disminución de la diversidad biológica por efecto de la destrucción de hábitat de fauna provocados por incendios forestales.
- Caza y captura indiscriminada de fauna.

La sobreexplotación de la vegetación para la producción de leña y carbón, el floreo, los incendios forestales y la mala recolección y disposición de desechos sólidos, han provocado un problema muy importante en la conservación de la flora de la sexta región del país, pudiendo provocar la extinción de especies.

La gran problemática ambiental de la séptima región está relacionada con la contaminación de los cursos de aguas con residuos industriales y domésticos, poniendo en peligro la conservación integral de los recursos naturales (tabla 1).

La octava región, tiene un importante problema ambiental que está afectando la calidad del recurso agua (tabla 1), para consumo humano y agrícola, derivado de la:

- Eutroficación³ de los cuerpos de aguas (lagos, lagunas, bahías, estuarios).
- Contaminación de aguas subterráneas por plantas industriales.

La sustitución de formaciones vegetales nativas por otras introducidas (como *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus*), la explotación irracional del bosque, los incendios forestales, la agresividad de especies invasoras, la sobreexplotación de leña y carbón, presencia de plagas (insectos, jabalí, ciervo rojo y castor) han denostado la conservación de la flora de la novena, décima y undécima regiones (tabla 1).

Mientras que en la duodécima región, la modificación antrópica en el paisaje natural ha desequilibrado el medioambiente (tabla 1), debido a:

- Sobrepastoreo en terrenos de praderas y de bosque.
- Degradación de cuencas hidrográficas y desviaciones de cursos de agua.
- Pérdidas de suelo provocadas por actividades petroleras y auríferas.

³ El proceso natural de eutroficación es el incremento de la concentración de nutrientes en un cuerpo de agua. El proceso se acelera cuando se vierten aguas servidas o descargas industriales ricas en fósforo y nitrógeno, favoreciendo la propagación y crecimiento de algas y de vegetación ribereña, pudiendo llegar en algunos casos a generar olores desagradables y sustratos fangosos en las riberas (descomposición de materia orgánica), afectando negativamente las actividades recreativas y la producción de agua de buena calidad.

- Introducción de especies de fauna exóticas que provocan daño en la regeneración del bosque y compiten con especies nativas.

El urbanismo explosivo que se ha desarrollado en la región Metropolitana, ha tenido efectos negativos sobre el ecosistema, menoscabando la sustentabilidad de los recursos naturales (tabla 1). Existen problemas ambientales muy importantes que necesitan solución, tales como:

- Congestión vehicular y excesivo tiempo de desplazamiento en la ciudad.
- Polución atmosférica y salud de la población.
- Contaminación de cursos de agua.
- Aumento progresivo de la densidad poblacional en la región.
- Recolección y disposición de desechos sólidos industriales y domiciliarios.
- Pérdida de hábitat naturales debido a la expansión de las ciudades a áreas periféricas.

6.9 Conservación de los recursos naturales renovables

A continuación se nombran algunas medidas de conservación de recursos renovables, si bien este listado es algo limitado, no quiere decir que son las únicas que existen, todo depende de la creatividad de los profesionales que estarán a cargo de dar solución a los problemas ambientales, pudiendo muchas veces innovar o también combinar diferentes técnicas, pero eso es tema de otro apunte.

Medidas para la conservación del agua dulce

- Distribución óptima del agua disponible según prioridades de uso, por ejemplo satisfacer el consumo humano, riego y posteriormente la industria.
- Extender las cantidades limitadas mediante un mejor manejo del recurso, lo cual pasa por mejorar la eficiencia, reciclaje (tratamiento de aguas), mejorar tecnología de riego, etc.
- Búsqueda de fuentes de agua en lugares donde el recurso es escaso, a través de construcción de represas, perforación de pozos, entre otras.

Medidas de conservación de la agricultura

La cero labranza es amigable con el medio ambiente, disminuye considerablemente la erosión del suelo (casi deteniéndola), aumenta su fertilidad sin requerimientos de fertilizantes, además aumenta la retención de carbono en este. Algunas consideraciones económicas en la adopción de esta tecnología son: aumento del rendimiento y productividad de los sistemas agrícolas, reducción en el uso de combustibles en las faenas, disminución en el uso de mano de obra e insumos (Acevedo y Silva, 2003).

Medidas de conservación de los recursos marinos (Odum y Barret, 2006; Husch y Ormazábal, 1996).

- Control de pesca deportiva, establecer cuotas de extracción por especie marina.
- Crear, acrecentar y mantener reservas marinas que sirvan de refugio a la fauna marina de la extracción indiscriminada.
- Control ambiental de extracción de combustibles fósiles u otros minerales.
- Reducir la cantidad de contaminantes que entran al sistema marino.

Medidas de conservación de los recursos forestales

- Realizar un ordenamiento territorial de terrenos rurales, donde se delimiten de manera clara, las zonas más aptas para cumplir objetivos de protección, producción, recreación, etc.
- Aplicación de técnicas de control hidrológico de cuencas para disminuir la erosión hídrica.
- Forestar terrenos que carecen de vegetación que proteja el suelo con su cobertura.
- Promover la aplicación de sistemas integrados de producción.
- Promover la participación comunitaria para encontrar soluciones a los problemas medioambientales.

Bibliografía citada

- Acevedo, E; Silva, P. 2003. Agronomía de la Cero Labranza. Universidad de Chile. Serie Ciencias agronómicas n°. 10. 118 p.
- Benoit, I. 2004. Áreas Silvestres Protegidas del Estado. Una Visión Histórica. Documento Técnico N° 162. CONAF. Chile. Pp 12.
- Columbia University Press. 2005. Columbia Encyclopedia, Sixth Edition. < <http://www.bartleby.com/65/ge/geograph.html> > [consulta: 3 de diciembre de 2007].
- Comisión Nacional de Energía. 2007. Fuentes de Energía. [en línea] < http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/f_energeticas.html > [consulta: 3 de diciembre de 2007].
- CONAF-CONAMA. 1999. Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. Santiago. Chile. Pp 89.
- CONAMA. 2007. Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, modificada por la Ley 20.173.
- CONAMA. s.f. Novena Región de la Araucanía, de Mar a Cordillera. Capítulo IVa: Principales ecosistemas de la región. [en línea] <http://www.sinia.cl/1292/articles-29101_recurso_6.pdf> [consulta: 3 de diciembre de 2007].
- Contreras,D.; Gastó,J.; Cosio, F. 1986. Ecosistemas Pastorales de la Zona mediterránea árida de Chile. I.Estudio de las Comunidades Avícolas de Carquindañ y yerba Loca del Secano Costero de la Región de -Coquimbo. Conicyt. Comité Mab -Chile. UNESCO – MAB. Montevideo. Uruguay. Pp 475.
- Errázuriz, A. 199. Manual de Geografía de Chile. Editorial Andrés Bello. Santiago. Chile. Pp 443.
- Espinoza G., Gross, P. y Hayek, E. 1994. Percepción de los problemas ambientales en las regiones de Chile. Alfabet Impresores. Santiago. Chile. 647 Pp.
- Faiguenbaum, H. 2003. Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Santiago, Chile. Ograma 760 p.
- Gayoso, J. Y Alarcón, D. 1999. Guía de conservación de suelos forestales. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile-INFOR. 91 p.
- Hartwig, F. 1994. La tierra que recuperamos. Editorial Los Andes. Santiago. Chile. 256 p.
- Husch, B. y Ormazábal, C. Nuestro Mundo Cambiante; El hombre, los recursos naturales y el medio ambiente. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Editorial Los Andes. Santiago. Chile. Pp 314.
- INE. 2007. Censo Agropecuario 2007, Resultados Preliminares. [en línea] < http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censos_agropecuarios.php > [consulta : 3 de diciembre de 2007]
- INFOR, 2005a. Estadísticas. Producto Interno Bruto. [en línea] <http://www.infor.cl/webinfor/estadisticas_Forestales/2002_2003/inicio_valorizacion_produccion.htm#ProductoInternoBruto>[consulta : 28 de Septiembre 2005]
- INFOR, 2005b. Estadísticas. Ocupación Forestal. [en línea] <http://www.infor.cl/webinfor/estadisticas_Forestales/2002_2003/inicio_ocupacion.htm>[c onsul ta : 28 de Septiembre 2005]
- INFOR, 2005c. Estadísticas. Consumo Y Producción. [en línea] <http://www.infor.cl/webinfor/estadisticas_Forestales/2002_2003/inicio_consumo_produccion.htm>[consulta : 28 de Septiembre 2005].
- Katz, J.; Stumpo, G.; Varela, F. 2000. El Complejo Forestal Chileno. Proyecto CEPAL/CIID CAN 97/S25. Reestructuración industrial, innovación y competitividad internacional en América Latina, Fase II. Santiago. Chile. Pp 100.
- Matus, N.; Fernández, B.; Aedo, M.; Larraín, S. 2004. Recursos hídricos en Chile: desafíos para la sustentabilidad. Lom Ediciones. Santiago. Chile. Pp 172.
- Mera, M. y Rouanet, J. L. 2003. Contribución de las leguminosas de grano en rotación con cereales: Una revisión. Editor E. Acevedo. Instituto Nacional de Investigaciones

- Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Carillanca. Serie Ciencias agronómicas n°. 8. 184 p.
- MOP - DGA. 1999. Política Nacional de Recursos Hídricos. Santiago. Chile. Pp 58.
- Odum, E. y Barret, G. 2006. fundamentos de Ecología. Quinta Edición. Editorial Thomson. México. Pp 598.
- Peralta, M. 1976. Uso, Clasificación y Conservación de Suelos. Servicio Agrícola Ganadero. Ministerios de Agricultura. Santiago. Chile.
- PROCHILE, 2003. Sector Forestal.[en línea] < http://www.prochile.cl/doc.php?file=sector_forestal_chile_2003.pdf > [consulta : 5 de Octubre de 2004].
- RAE. 2007. Diccionario de la Lengua Español. Vigésima Segunda Edición. [en línea] < http://buscon.rae.es/draeI/SrvltConsulta?TIPO_BUS=3&LEMA=recurso > [consulta: 3 de diciembre de 2007].
- Salazar, C. 2003. Situación de los recursos hídricos en Chile. Reporte de Investigación. Third World Centre for Water Managment. [en línea] < <http://www.thirdworldcentre.org/publi.html> > [consulta: 4 de diciembre de 2007].
- Subsecretaría de Pesca. 2007. Perspectiva latitudinal y longitudinal del territorio marítimo de Chile. [en línea] < <http://www.subpesca.cl/mostrarmagen.asp?id=1491> > [consulta: 5 de diciembre, 2007].

7 Evaluación y Monitoreo de los Recursos Naturales

Miguel Castillo S.

7.1 Introducción

La inmensidad de la naturaleza, reflejada en la extensa diversidad de recursos naturales tanto renovables como no renovables, amerita a ser estudiada en forma entretenida, sin dejar de lado la rigurosidad en la aplicación del método científico.

Los tiempos modernos y el acceso a tecnologías de punta, posibilitan el estudio de fenómenos naturales de una forma simple, para la comprensión de procesos que muchas veces escapan a la simple mirada que se tiene del espacio geográfico.

Es este concepto, el *espacio geográfico*, el que nos guiará en este pequeño curso, conociendo y comprendiendo cómo podemos internarnos en la evaluación y monitoreo de recursos naturales desde un contexto espacial y temporal. Porque la conjunción de tiempo y espacio, otorga la posibilidad de estudiar procesos, tales como el avance de los desiertos, el cambio en el uso del suelo, la ocupación del territorio por sectores urbanos, o la conservación de masas forestales.

Un mundo de posibilidades se abre al estudio geográfico de los fenómenos naturales. Es aquí donde conoceremos las principales técnicas que nos permitirán realizar esta evaluación y monitoreo, de forma fácil y a la vez muy entretenida.

7.2 Fundamentos de la evaluación y monitoreo de recursos naturales

En materia de tecnologías de información para el estudio del territorio, el proceso de evaluar consiste en estudiar y medir las características espaciales de un objeto geográfico, mientras que el monitoreo corresponde al seguimiento de un fenómeno en particular, en cuyo caso lo que se acostumbra a realizar es la medición multitemporal de variables o atributos espaciales de interés.

En el caso de los recursos naturales, podemos distinguir el estudio de los recursos marinos, mineros, forestales, como también el conocimiento acerca de la evolución de los paisajes y ecosistemas de una región, la flora y fauna que nos rodea, y la recreación de los patrones evolutivos que han propiciado el cambio en la dinámica de los ecosistemas naturales.

En el caso de Chile, país extenso y variado por la gran cantidad de ecosistemas que presenta en su extensa geografía, es posible distinguir y caracterizar una innumerable cantidad de recursos naturales y procesos derivados de la interacción de ellos. La disponibilidad de herramientas tecnológicas nos dan la opción de poder estudiar este espacio geográfico, recurriendo a una variada gama de técnicas modernas, entre ellas, la cartografía, la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG).

Haciendo una línea de tiempo histórica, en los últimos 50 años, el mundo ha experimentado un vertiginoso avance en la búsqueda e implementación de nuevas técnicas para el estudio y monitoreo de los recursos naturales (renovables y no renovables), no sólo a escala regional sino a nivel planetario.

Como veremos más adelante, este pequeño curso aborda los fundamentos de la cartografía automatizada, la utilización de imágenes satelitales (una mirada desde el espacio), y la abstracción de la realidad (lo que vemos, lo que nos rodea), mediante la utilización de modelos de datos a través de los SIG.

Entrando en materia, un proceso de evaluación en recursos naturales, implica variadas etapas, todas sucesivas y ninguna de ellas no menor en cuanto a relevancia:

- Primero, es necesario acotar el espacio geográfico, o el lugar a reconocer, junto con tener muy claro qué se quiere medir, o estudiar. Este punto implica necesariamente definir los objetivos del estudio, y el concepto de escala (o tamaño relativo de representación geográfica de los objetos a reconocer en un medio de salida, que puede ser una cartografía, por ejemplo). Es importante señalar, sobre todo en el caso de los fenómenos dinámicos, que todo proceso puede llevar a distintas interpretaciones de acuerdo a la escala de percepción con la cual se pretenda medir los objetos en el espacio geográfico. Por ejemplo, si se desea estudiar la variación de temperaturas para el establecimiento de una especie forestal, podría recurrirse a una misma fuente de información, pero expresada a dos escalas: en detalle (gran escala), en donde podrían obtenerse las variaciones locales de temperatura para un área determinada, o bien, en forma general (pequeña escala), en donde el objetivo a plantear estaría dado por la estimación gruesa en la variación espacial de valores para la temperatura.
- Paso siguiente es el reconocimiento exhaustivo de las variables que intervienen en los procesos que se desean medir, estimar o caracterizar. Es necesario además conocer a priori algún tipo de relación espacial entre los elementos del paisaje que se intenta medir o cuantificar. Es una tarea que requiere de un alto grado de conocimiento de los procesos que intervienen en el estudio de fenómenos naturales por cuanto pueden existir innumerables relaciones entre elementos conocidos y otros que forman parte de otros componentes de la naturaleza. Por ejemplo, la relación que existe entre los niveles de nutrientes del suelo (que se pueden cuantificar), y el estado del follaje de los árboles.
- Teniendo en cuenta los pasos precedentes, entonces es posible aplicar las técnicas modernas (la teledetección y los SIGs) para medir y cuantificar las relaciones espaciales existentes. Los resultados iniciales se abocan a la delimitación de áreas, o la identificación de atributos espaciales que describen, con un cierto grado de precisión, el grado de dependencia entre las variables a cuantificar. En este paso es donde el usuario debe conocer el modelo de datos (que se explicará más adelante) a utilizar. Esto quiere decir, que el espacio geográfico es representado finalmente por la adopción de elementos geométricos (puntos, líneas o polígonos) que tienen como propósito recrear, lo más fielmente posible, la realidad mediante la asignación de valores o atributos, a cada elemento conformante del espacio geográfico. En teledetección por ejemplo, este proceso se realiza a través de la medición de la energía que emite y capta cada objeto sobre la tierra, lo que finalmente es representado por una cuadrícula o matriz de valores, que, en conjunto, conforman una imagen de satélite, con distintas propiedades que revisaremos más adelante.
- Una etapa intermedia, no menor, y que antecede al monitoreo, es la obtención de resultados preliminares y la generación de algún tipo de cartografía o resultados que puedan ser de utilidad para quien realiza el estudio o bien para los que deben tomar algún tipo de decisión respecto a las variables de interés. En el primer caso, puede ser útil estimar el número de hectáreas de superficie que es necesario inundar para el llenado de un embalse. Si este es el caso, entonces la evaluación de los recursos naturales utilizando las imágenes satelitales y el SIG, debiesen proporcionar valiosos antecedentes acerca de qué tipo de recursos naturales se verían amenazados por la crecida de este embalse, las características de ellos y una estimación espacial de los efectos que tendría la ejecución de este proyecto sobre las

características del paisaje natural. Si a esto le sumamos la necesidad de expresar dichos resultados en una cartografía (mapa), entonces estamos hablando de un conjunto de procesos que han sido aplicados para la evaluación de los efectos potenciales ocasionados por la ejecución de un proyecto que tendría un ineludible impacto sobre los recursos naturales: en este caso, el llenado del embalse.

- Finalmente, no podemos dejar de mencionar una de las etapas más importantes: el monitoreo. En este proceso confluyen todos los aspectos relacionados al catastro de recursos, la caracterización de ellos, el conocimiento de las relaciones espaciales existentes entre los elementos a estudiar, con el objetivo de establecer patrones de comportamiento del fenómeno en un espacio tiempo determinado. Así por ejemplo, la fragmentación de los bosque puede ser medida en una escala temporal de 50 o más años, el monitoreo del nivel de aguas subterráneas puede ser aplicado cada 1 mes, dependiendo del objetivo del estudio. Son innumerables los ejemplos que podrían citarse en las ciencias ambientales, particularmente en el estudio de los recursos naturales renovables. El monitoreo es sin duda, una de las etapas más importantes y en donde la aplicación de los Sensores Remotos y los Sistemas de Información Geográfica, juegan un rol importante, como tecnologías de apoyo a la toma de decisiones.

7.3 Los Sistemas de Información Geográfica como apoyo al estudio de recursos naturales

Un sistema de Información Geográfica (SIG) es un conjunto de herramientas (software e información), orientado a la captura, creación y almacenamiento, procesamiento, interpretación, y generación de datos espacialmente georreferenciados, es decir, con una localización geográfica conocida dentro del espacio.

Este conjunto de herramientas siguen una secuencia lógica, que parte desde la obtención de información hasta la generación de resultados. En medio de este proceso, actúan los componentes informáticos (físicos y lógicos), medios y procedimientos preparados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos de cualquier territorio.

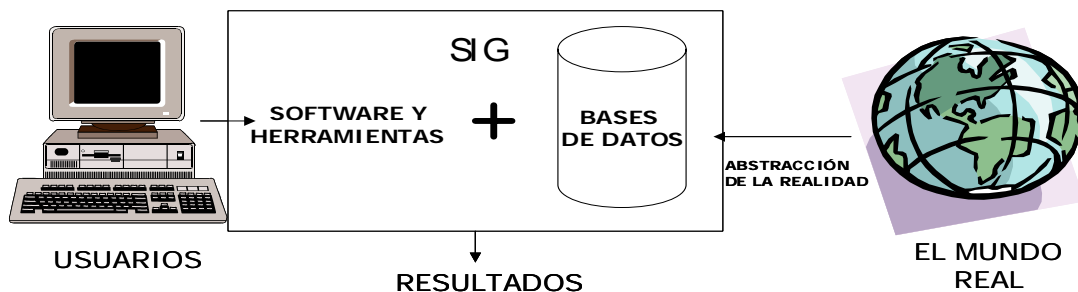


Figura 1.- Componentes básicos de un SIG

Las unidades fundamentales que componen un SIG son:

- La unidad de procesamiento y automatización de los datos
- La base de datos
- El componente operativo o funcional que mediante un conjunto de procedimientos u operaciones permiten actuar sobre la información contenida sobre la base de datos

A su vez estas unidades deben permitir en su conjunto, cumplir con los siguientes objetivos:

- Otorgar una ubicación espacial al problema en estudio.
- Permitir la recolección de datos en cualquiera de las formas en que éstos se presenten.
- Organizar esta información en una base de datos espacial.
- Actualizar la información para facilitar la retroalimentación del sistema.
- Efectuar análisis de información para su interpretación y toma de decisión.
- Representar gráficamente el problema a estudiar.
- Permitir el modelamiento de situaciones complejas.

Básicamente un SIG permite obtener una gran cantidad de información de distinto tipo, tratarla para convertirla en conjuntos de datos compatibles, combinarlos y exponer los resultados sobre un mapa. De este modo, algunas de las operaciones estándar del SIG son:

- Integración de mapas trazados a escala diferente, o con proyecciones o leyendas distintas;
- Superposición de distintos tipos de mapas de una determinada zona para formar un nuevo mapa en el que se incluyen los datos descriptivos de cada uno de ellos. Por ejemplo, un mapa de hidrografía podría superponerse sobre un mapa de infraestructura (figura 2). Este a su vez podría colocarse sobre un mapa del terreno para la determinación de las zonas aptas para la construcción de obras de riego.
- Las funciones topográficas se refieren a que las características de la superficie o relieve de un área como son las terrazas, colinas y montañas pueden ser representadas en un SIG a través de modelos de elevación digital (Digital Elevation Model - DEM), para ello, es necesario contar con un conjunto de datos de elevación (puntos) como muestras representativas bien distribuidas en toda el área a ser modelada. Algunas funciones importantes usadas en análisis topográfico, y que se derivan de un modelo digital de elevaciones, son la iluminación del relieve, cálculo de pendientes, orientaciones, visualización entre dos puntos (intervisibilidad), cuencas de drenaje, entre otros análisis.
- Creación de zonas intermedias o próximas en torno a las líneas o polígonos de un mapa. Esta técnica se utiliza para buscar zonas a una distancia dada de las carreteras, ríos, etc., o de ciertas condiciones temáticas. Estas zonas intermedias pueden a su vez utilizarse como otra capa de superposición;
- Funciones de consulta en la base de datos de atributos, éstas se realizan de acuerdo a las condiciones especificadas por el operador y de acuerdo a las características del software. Esta permitirá consultas más complejas que impliquen investigaciones selectivas de todos los atributos para una o más capas de datos y la generación de un reporte que tabule los resultados.

Los SIGs han sido diseñados para soportar una gran variedad de análisis de información geográfica, tales como técnicas de examinación y exploración de datos, el conocimiento y “testeo” de nuevos modelos, y la visualización de información espacial para la representación de un fenómeno que posee expresión territorial. Estas cualidades se insertan dentro de lo que denominamos “análisis espacial”.

Muchos expertos en SIG se plantean la pregunta si el análisis espacial es uno de los objetivos más importantes de esta tecnología. Si repasamos las capacidades de esta herramienta para el análisis, modelación, y ayuda a la toma de decisiones, nos damos cuenta que, aunque el costo eventual de adquirir datos y poseer el SIG para procesarlos pueda ser bastante elevado respecto a la utilización de métodos manuales apoyados por cartografía análoga; la utilización de esta tecnología ahorra importantes esfuerzos en la generación, análisis y precisión de resultados, que por métodos tradicionales sería muy difícil de igualar. Adicionalmente, los resultados obtenidos, en muchos casos pueden ser utilizados para la realización de otros estudios, permitiendo el ahorro de tiempo y dinero.

Dentro de los análisis que justifican ampliamente el uso de los SIG se encuentran la posibilidad de efectuar consultas específicas a las bases de datos de la información territorial, los análisis de sobreposición de información (Figura 2), análisis en zonas, operadores de distancia y proximidad, estructuración topológica, integración de información, migración de datos, trabajo interactivo con bases de datos, edición y corrección de coberturas, análisis de información espacial a través de internet, y muchas otras. La lista de funciones en los SIG para distintos análisis de datos es enorme.

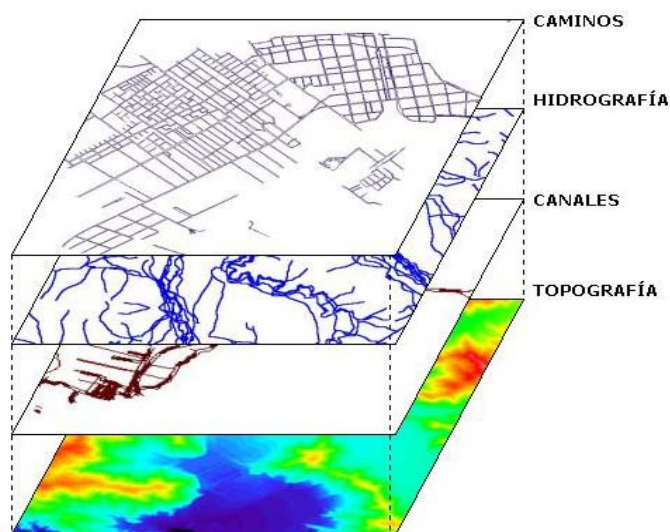


Figura 2. Estratos temáticos de un Sistema de Información Geográfica

Los SIG necesitan información para que funcionen. Esta proviene de distintas fuentes. De observaciones de terreno (puntos tomados con GPS por ejemplo), de bases de datos complementarias, de imágenes satelitales y fotografías aéreas, y de cartografía digital del área de interés.

Los datos, independiente de la fuente de captura, necesitan ser representados y adaptados a un “modelo de datos”, para poder ser utilizados por el SIG. Por un lado, podemos representar una red hidrográfica a través de la estructura de líneas, mientras que la representación de una masa de bosques puede realizarse a través de una estructura de polígonos (que representen áreas). Estas dos estructuras son utilizadas frecuentemente en los SIGs comerciales, mediante la aplicación de innumerables procedimientos para el manejo de información territorial.

En términos específicos, el modelo de datos vectorial define un objeto geográfico a través de sus límites o fronteras con el exterior. Para esto, representa los objetos geográficos como una serie de unidades discretas: puntos, líneas y polígonos (figura 3). A su vez, puntos, líneas y polígonos

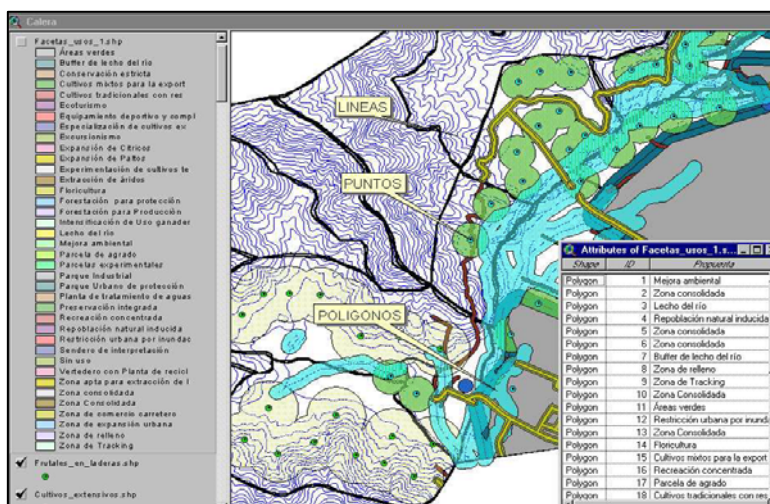


Figura 3.- Representación de elementos vectoriales y bases de datos asociada.

permiten representar un objeto geográfico en función de las coordenadas cartesianas que definen sus límites. Estas se suponen constantes y no contienen información alguna acerca de la variabilidad tanto temporal como espacial del objeto representado. En este modelo, todas las entidades son representadas en términos de sus coordenadas (geometría), sus atributos (propiedades) y sus relaciones (topología). En otras palabras, los fenómenos espaciales son descritos en función de su ubicación geográfica y sus características, organizadas y representadas frecuentemente en una base de datos.

Por su parte, el modelo de datos raster es una estructura regular de celdas (GRID o grilla), que permite obtener una subdivisión del espacio en sectores uniformes, cada uno de ellos con atributos propios que pueden repetirse; la unión de ellos forma a su vez, la representación digital del mundo real. Sobre esta subdivisión, operan todas las herramientas de análisis territorial para el mundo de las celdas, incluida la teledetección o uso de imágenes satelitales.

En este modelo, las relaciones topológicas (vecindad) entre las entidades geográficas, están definidas por la disposición de las celdas en la matriz (figura 4).

Este método de visualización y almacenamiento de datos hace uso de puntos individuales. Cada uno de esos puntos contiene el valor de un atributo e inserto dentro de un nivel o clase. De esta forma, un área geográfica puede encontrarse dividida en celdillas regulares, normalmente cuadradas, cada una de las cuales poseen atributos en la base de datos.

Este modelo de datos, al igual que en el caso vectorial, se encuentra implementado en casi todos los SIG comerciales presentes en la actualidad. El campo de acción de los raster es enorme, partiendo desde aplicaciones en la teledetección, hasta la zonificación de áreas y estudios relacionados con medioambiente y otras disciplinas.

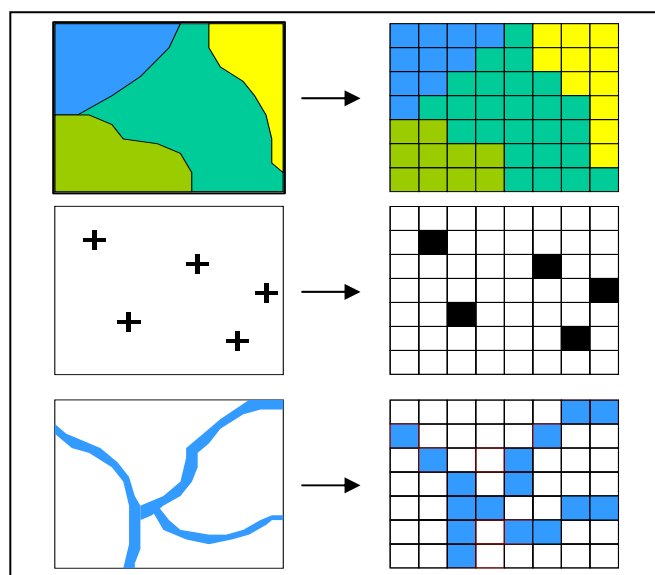


Figura 4.- Representación de distintos elementos geográficos en formato raster.

Una evaluación y monitoreo de recursos naturales no quedaría completa sin la utilización de otros medios, tales como las fotografías aéreas y las imágenes satelitales. En el primer caso, las fotos – tomadas desde vuelos programados – proporcionan valiosos antecedentes acerca de las características de los recursos, permitiendo abrir espacios al estudio de innumerables fenómenos que pueden ocurrir en un espacio, junto a la posibilidad de cuantificar o medir, propiedades geométricas, tales como superficies y perímetros, que desde el terreno es más difícil obtener.

En tal sentido, explicaremos brevemente dos productos que se utilizan tradicionalmente como apoyo a este tipo de tareas: la ortofoto y la fotografía aérea.

Una ortofoto, es un tipo de mapa proveniente de fotografías aéreas a las cuales se les ha corregido las distorsiones producidas por la inclinación de la cámara aérea y el relieve, obteniéndose como producto una imagen del terreno con fondo fotográfico. Este tipo de base cartográfica es muy útil para poder evaluar recursos territoriales, tales como límites de predios, trayectoria de ríos y canales, estimar la forma natural de los accidentes topográficos y la delimitación de zonas con vegetación.

Por otra parte, una fotografía aérea es una imagen fotográfica obtenida desde el espacio aéreo a través de una cámara montada usualmente en un avión (figura 5). Esta foto es tomada en forma continua, conformando lo que se llama línea fotogramétrica, la cual se repite en forma paralela hasta cubrir el área requerida para ser cubierta. La escala de la foto es la relación matemática entre la dimensión real de los objetos situados en la superficie terrestre y la de su imagen captada y se define por la altura del vuelo y la distancia focal de la cámara empleada. Esto sirve para ubicar determinada zona de interés. Por último, la fotografía aérea permite obtener una visión aérea del lugar y dependiendo de su escala, puede entregar mayores o menores detalles de la superficie terrestre que cubre.

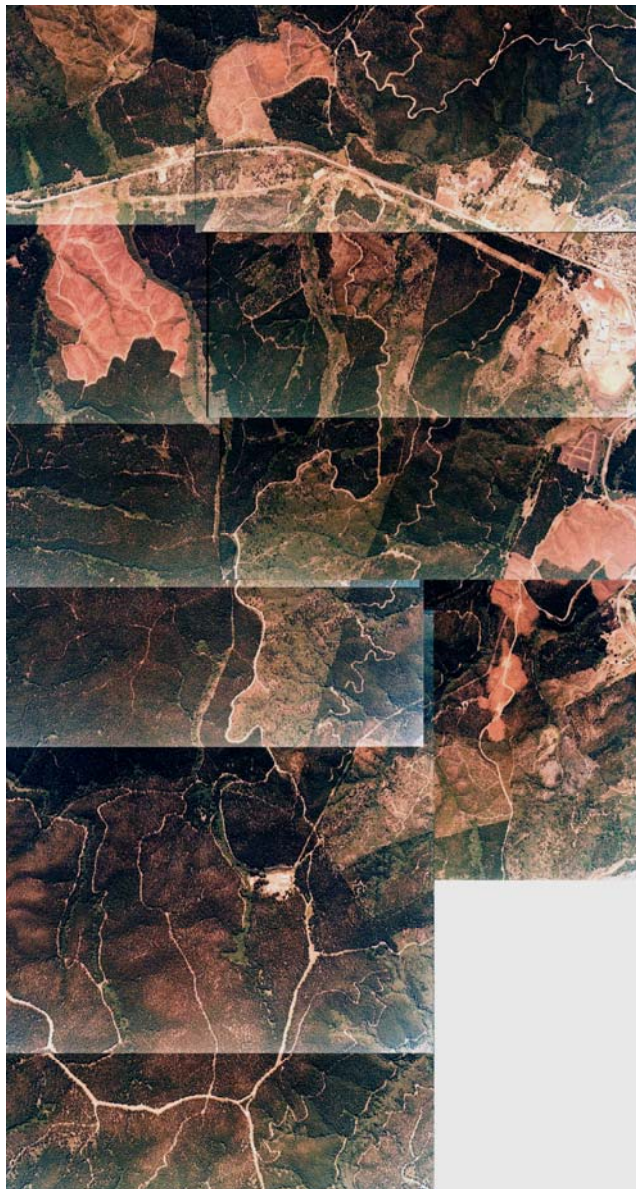


Figura 5.- Mosaico elemental de fotografías aéreas, tomadas en distintas líneas de vuelo. Sector: Predio Pantanillos, de la Universidad de Chile.

7.4 Una mirada desde el espacio: empleo de imágenes satelitales para la evaluación y monitoreo

Las imágenes satelitales que usualmente conocemos, nacen de conceptos desarrollados a mediados de los años 60, y se sustentan en la Teledetección Espacial, que básicamente consiste en observar un objeto sin entrar en contacto con él.

Para lograr esto, existen técnicas conocidas de adquisición de datos para poder observar adecuadamente este objeto, lo que se traduce en la lectura de un concepto llamado “espectro electromagnético” (figura 6). Este concepto forma la base de toda la teledetección, y consiste en el reconocimiento de patrones de radiación electromagnética que emiten y reciben los cuerpos que están sobre la superficie de la tierra.

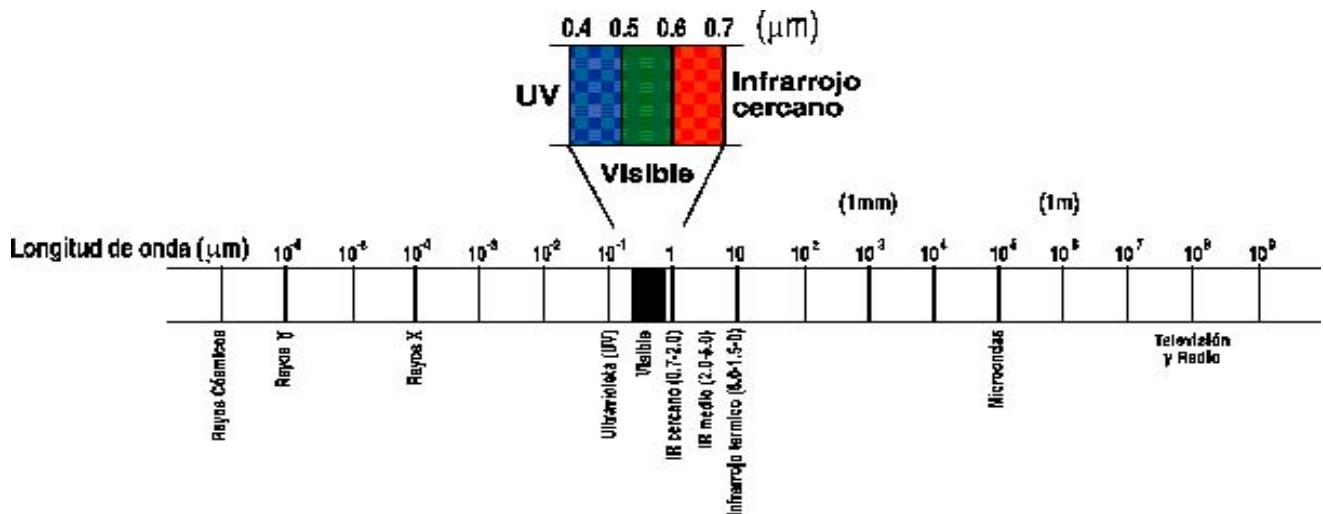


Figura 6.- El espectro visible, es lo que realmente el sensor humano puede ver. Los extremos de esta escala conforman la diversidad de aplicaciones que actualmente conocemos, y que se basan en el concepto de electro electromagnético.

La radiación electromagnética interactúa con la materia, en donde cada objeto presenta un comportamiento espectral que tipifica la mayoría de los objetos presentes en la naturaleza, y también en obras y procesos generados por la actividad humana.

El proceso base de la teledetección se conforma básicamente de tres elementos: la fuente de iluminación o energía (el sol), el sensor o satélite que orbita alrededor de la tierra, y el sensor o decodificador de la señal en tierra, que permite finalmente “construir” la imagen captada desde el espacio. El producto nativo de este proceso se denomina “escena” (figura 7).

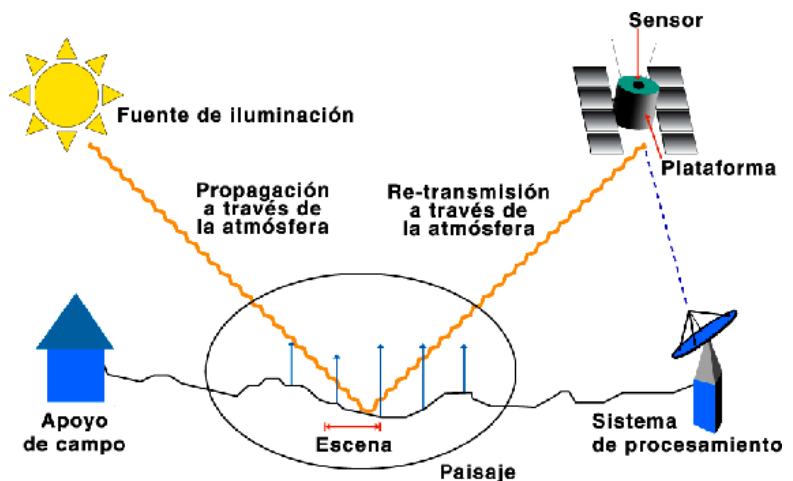


Figura 7.- Esquema elemental de monitoreo y adquisición de datos para la construcción de una imagen satelital.

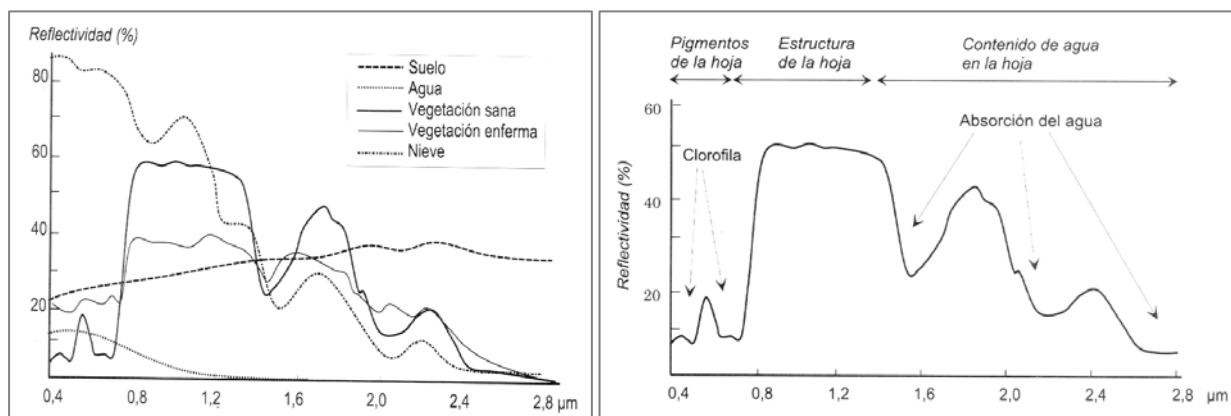


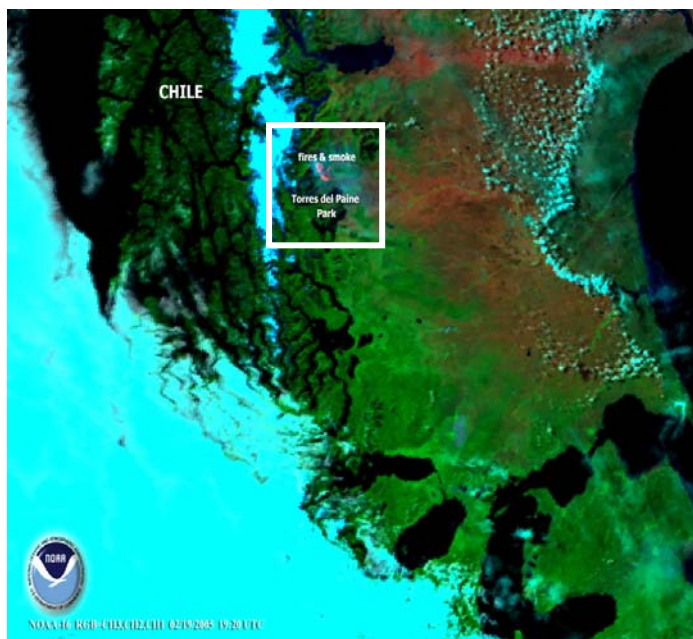
Figura 8.- Comportamientos espectrales para elementos típicos que se encuentran en la naturaleza.

En términos generales, la imagen formada por este proceso, consiste en una matriz de celdillas o píxeles, cada una de ellas con valores numéricos que representan los “niveles digitales”, organizados en “bandas” o secciones sucesivas que conforman el espectro electromagnético. Por ejemplo, una imagen puede contener tres o más bandas. Cada una de ellas contiene niveles digitales (ND), que al combinarse entre ellas pueden conformar el “color”, o representación espectral de la combinación de bandas. Existen muchas combinaciones. Muchas de ellas dependerán de qué tipo de fenómeno de la naturaleza deseamos estudiar. Así por ejemplo, la actividad fotosintética de la vegetación puede medirse mediante la combinación de bandas denominadas “rojo” e “infrarrojo cercano”. Puede interpretarse también el estado de humedad del suelo, o la susceptibilidad de la vegetación frente a la ocurrencia de incendios forestales, y la evaluación y monitoreo de ellos (figura 9).

Figura 9.- Se muestra el seguimiento de grandes incendios forestales ocurrido en la Patagonia de Chile, en el Parque Nacional Torres del Paine. Sensor NOAA, captado el 19 de febrero de 2005.

Con este tipo de información satelital, el usuario puede efectuar una diversidad de operaciones para lograr identificar y caracterizar los recursos naturales. En teledetección, se acostumbra a dividir el procesamiento digital en cinco etapas básicas, que se describen a continuación:

- Rectificación y restauración de imágenes: son procedimientos que permiten corregir las distorsiones o degradaciones de la imagen, con énfasis en las correcciones geométricas, en la calibración radiométrica de los datos, y en la eliminación de ruido.
- Realce o mejoramiento de imágenes: son métodos orientados a mejorar la visualización y la calidad de la imagen, para facilitar la interpretación de sus datos. En este proceso se crean nuevas imágenes a partir de la original para aumentar la cantidad de información que puede ser usada en la interpretación. Las técnicas más comunes incluyen la manipulación del contraste,



filtros espaciales, convoluciones, realce de bordes, análisis de Fourier, índices de vegetación, componentes principales y canónicos, y transformaciones del sistema de formación del color.

- c) Clasificación de imágenes: son técnicas que permiten identificar y caracterizar los objetos de la imagen. Existen tres tipos de enfoques para este propósito. El primero realiza la clasificación sobre la base del reconocimiento del patrón espectral, e incluye los procedimientos que utilizan la información espectral, píxel a píxel, como base de la identificación. Dentro de este enfoque se distinguen dos caminos distintos: la clasificación supervisada y la clasificación no supervisada. El segundo enfoque utiliza el reconocimiento del patrón espacial e identifica los píxeles en base a su relación con sus vecinos, para lo cual se consideran aspectos tales como la textura, el contexto, y otras medidas de la variación espacial. Finalmente, cuando el criterio se basa en cambios temporales, el proceso se enfoca desde el reconocimiento del patrón temporal.
- d) Integración de la información en el Sistema de Información Geográfica: en este paso, se combinan las fuentes de información para una misma localización geográfica. Intervienen los conceptos antes mencionados de vector y raster, siendo posible aplicar variados procedimientos para analizar y visualizar combinaciones de operaciones aplicadas al conjunto de información.
- e) Modelamiento de procesos: es la etapa más compleja pues implica relacionar cuantitativamente la información digital contenida en las imágenes digitales, provenientes de un sensor remoto, con las características biofísicas de la zona de estudio. Por ejemplo, a través de teledetección se podría estimar la producción de cultivos agrícolas o forestales.

Una de las fuentes de información que se ha masificado en los últimos dos años, es el empleo de información pública vía Internet, como apoyo a innumerables estudios territoriales, no solamente los asociados a los recursos naturales renovables. Google Earth por ejemplo se ha convertido en una potente e interesante fuente de datos satelitales, muchas veces de alta resolución, en donde el usuario debe adaptar la información disponible a sus requerimientos. En este sentido, uno de los pasos más importantes que debe realizarse, es cautelar la obtención de una adecuada proyección espacial de los datos. De una manera más sencilla, lo que se busca finalmente es asignar proyecciones cartográficas conocidas que permitan la sobreposición con otros niveles de información (figura 10).



Figura 10.- Imagen Google Earth, georreferenciada y sobrepuesta sobre otros niveles de información (mapa de calles en alta resolución). Imagen del Parque Padre Alberto Hurtado, Gran Santiago. Enero de 2006.

7.5 Las tecnologías vía web: el famoso Google Earth

El espacio geográfico también puede ser visto a través de internet. Una nueva forma de conocer, y también para compartir datos: El Google Earth, aplicación informática desarrollada hace unos cuatro años ya ha entrado a millones de usuarios en todo el mundo, quienes buscan de esta herramienta, entretenimiento, como también usos comerciales para diversos fines, entre ellos, para el apoyo a los Sistemas de Información Geográfica y Geoposicionamiento satelital.

Es un software muy versátil, pues opera con bancos de imágenes que pueden ser incorporados de acuerdo a la disponibilidad de ellas dependiendo del lugar geográfico a visitar, todo a través de una arquitectura de datos cliente-servidor, en la cual el usuario puede incorporar capas vectoriales para poder trabajar sobre mosaicos georeferenciados de imágenes, incluso en 3D en alta definición.

Actualmente existen diversas versiones, entre Freeware y comerciales. Con un costo aproximado de USD 400, es posible acceder a todas las herramientas de despliegue y análisis de datos, los cuales pueden ser llevados a otras aplicaciones SIG.



Figura 11. Imagen Google que muestra el Lago Peñuelas, Quinta Región de Chile Central. Se muestran las distintas tonalidades (en color verdadero), junto a la infraestructura caminera y los diversos usos del suelo. Esta imagen puede ser ocupada mediante post-proceso para su incorporación a un SIG. Fuente: Google Earth-Digital Globe (2007).

Los usuarios de Google Earth pueden utilizar esta herramienta para efectuar levantamientos de información, tanto en 2D como en 3D. Para ello, es necesario conectarse a un servidor de mapas (bancos de imágenes), sobre las cuales se arma un banco de imágenes raster, las cuales presentan una posición geográfica conocida, un traslape producto de la toma aérea entre pares sucesivos de imágenes, y una resolución espacial (tamaño de la celda), que en muchos casos puede variar de acuerdo al área geográfica que se desee visualizar.



Figura 12. Vista 3D de la misma imagen anterior. En este caso se muestran además los topónimos del área de interés (círculos marcados y nombre del Lago, localizado con una marca puntual).

7.6 Las fotografías aéreas ... otra mirada a los recursos naturales desde el aire

Quizás habrás visto muchas veces imágenes de satélite acerca de fenómenos que ocurren en la naturaleza, o acontecimientos muchas veces derivados de la actividad humana. Las tecnologías de información para el monitoreo han evolucionado tan fuertemente sobre todo en los últimos 20 años, que ahora es posible describir el espacio geográfico a diversas escalas o niveles de análisis, incluso a la resolución de centímetros.

Considerando la posibilidad de describir el espacio con más detalle y con la caracterización fina del terreno, surge desde hace unos años las tomas o fotografías aéreas desde aeronaves (aviones) con el fin de capturar información del terreno, siguiendo protocolos de vuelo y parámetros técnicos propios de este tipo de técnica, y que someramente explicaré en este documento. Las fotografías aéreas se enmarcan actualmente en un concepto llamado Fotogrametría Digital, y en el cual lo que se busca es representar numéricamente espacialmente los elementos tridimensionales existentes en el terreno, pasando por una fase de captura, corrección de datos, restitución y generación de productos, como puede ser un modelo digital del terreno en donde se especifica la cota altitudinal de cada punto en el espacio.



Figura 13.- Avión sobrevolando un área para la toma de fotografías aéreas digitales

¿Qué es entonces la Fotogrametría Digital?

Es la aplicación de técnicas fotogramétricas a imágenes de formato digital, asistidos por programas de computación que adicionan procesamiento digital de imágenes para generar productos mayores.

Los procesos permiten representar en una matriz de datos (a modo de una rejilla de información), los elementos tomados en terreno, para luego ser codificados y traspasados a la imagen en el computador. Existen diversos métodos y variantes para construir la imagen, pero lo importante es saber algunos conceptos básicos, tales como el método de representación más usual de la información, y el manejo de las escalas de análisis para la identificación e interpretación de las formas que vemos sobre la superficie.

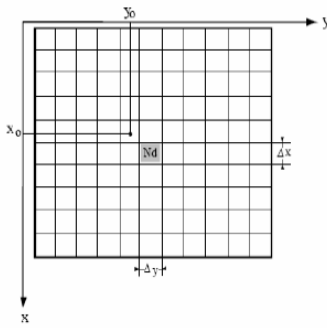


Figura 14. Definición básica de una imagen digital. En este esquema se muestra cómo se organizan los datos. Cada celdilla representa un dato que es simplemente una abstracción del mundo real.

De esta forma, los datos comienzan a organizarse para representar formas digitales que después mediante un proceso de reconstrucción en el computador (proceso que técnicamente se denomina “restitución fotogramétrica”), es posible generar una cartografía con los elementos digitales que representan las formas naturales y artificiales del terreno.

Pero para poder ver la realidad desde el aire, debemos considerar que el “ojo” digital también tiene limitantes, dependiendo de varios factores, entre ellos la altura de vuelo (recordemos también que las imágenes satelitales también son capaces de capturar un sinnúmero de datos dependiendo de otros factores técnicos), y la posibilidad de almacenamiento del sensor o de la cámara. Nace aquí el concepto de tamaño mínimo representable en la imagen (conocido también como resolución de la celdilla o píxel de información). De este modo, podemos identificar y clasificar diversas formas de fotos, medios de almacenamiento y procesos de codificación de los datos para poder verlos en el computador. En esta figura se señala un ejemplo de cómo los elementos en la tierra pueden ser visualizados a una resolución, por sobre la cual ya no es posible identificar mayores detalles.

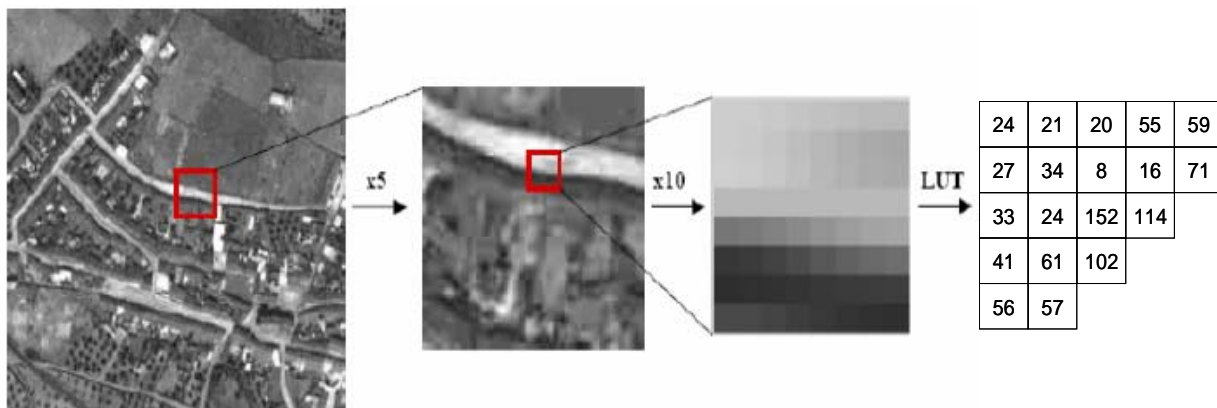


Figura 15. Resolución de la imagen aérea. El cuadro resaltado en rojo, indica un área que es codificada en el computador con tonalidades de grises. El acercamiento sucesivo lleva a identificar las celdas y su codificación numérica. En este caso, en escala de grises desde 0 a 255 colores.

Este fenómeno ocurre en todo tipo de fotografías, a distintas resoluciones. De hecho, una misma imagen puede ser capturada con una cámara de alta o de baja resolución. Por otra parte, el formato en como se almacenan los datos en el computador, hacen posible representar digitalmente las celdillas para asignarles un valor digital. Imágenes con mayor detalle son más grandes o “pesadas”, es decir, con mayor cantidad de columnas y filas, por lo que el análisis y despliegue de los datos suele ser más laborioso que la misma área fotografiada o escaneada con píxeles más grandes, en cuyo caso, el raster tiene menos cantidad de columnas y filas.



Figura 16. Foto de la Casa Blanca en Estados Unidos, tomado con sensor satelital a distintas resoluciones. El principio de la fotografía aérea para el armado de la imagen, opera de similar forma. Fuente: USGS (2007).

El sensor aéreo que toma la fotografía, sigue protocolos tanto para la ruta de vuelo, como también para la altitud sobre el terreno, la inclinación del avión, el modelo y tipo de cámara con la cual se toma la fotografía, y con el tamaño del área a fotografiar, entre otros aspectos. En vuelo, el avión toma una parte del terreno (fotografía), siguiendo una secuencia. En este proceso se identifican áreas comunes (traslape), tanto de la ruta misma, como de los costados que forman la línea de vuelo:

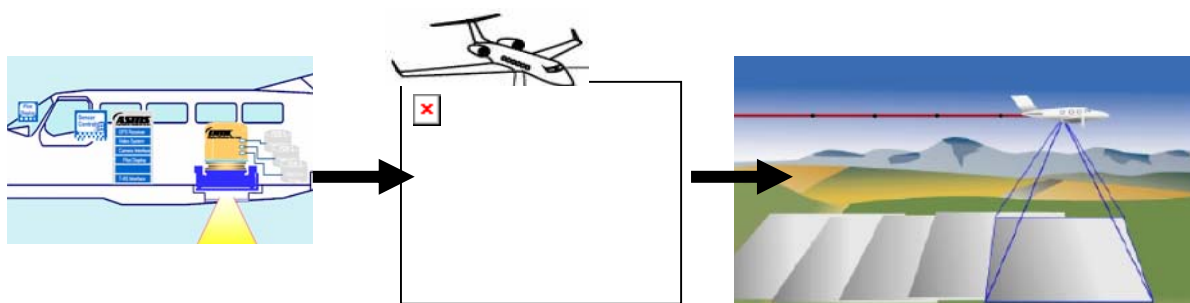


Figura 17. El avión dispone de mecanismos de navegación y captura de datos conforme vuela sobre el terreno. En la imagen de la izquierda se señalan tres dispositivos: el GPS que da la posición del avión respecto a cualquier punto sobre la tierra, la unidad de proceso de datos (a modo de CPU), en donde se almacena la información capturada desde la cámara, y la cámara propiamente tal. La fotografía se realiza sobre pares adyacentes que cubren un área determinada (recubrimiento), tanto en la orientación lateral como longitudinal (coincidente a la dirección de avance del avión).

Después de la toma de la fotografía, se ejecutan otros procesos que llevan finalmente a la obtención de diversos productos de apoyo a la evaluación y monitoreo. Los más importantes corresponden a las fotos aéreas, mosaicos de fotos, ortofotomapas y ortofotomosaicos, cada uno de ellos, contruidos sobre la base de un proceso de revisión de datos y restitución de aquellos elementos geográficos posibles de reconocer en la imagen.

Un proceso muy importante a realizar, corresponde a la restitución de elementos presentes en la fotografía aérea, y que corresponden a elementos geográficos verdaderos y posibles de reconocer en el terreno mismo. Para ello se recurre a la estereoscopia, que es simplemente localizar elementos tridimensionales sobre la base de la sobreposición de dos fotografías mirando un mismo punto. Con este proceso, es posible distinguir la altimetría del terreno en un área de la fotografía, de preferencia en el centro de ésta.



8. SALIDA A TERRENO: RESERVA NACIONAL LAGO PEÑUELAS

Claudia Cerda y Jaime Hernández

Durante un día se visita la Reserva Nacional Lago Peñuelas en donde se realizarán diversas prácticas utilizando los conocimientos adquiridos en las unidades anteriores. Las actividades serán realizadas en grupos de 3 a 4 estudiantes y al termino de la jornada deberán realizar un informe de actividades. Todos los grupos tendrán un tutor asignado, quien los apoyará y guiará en todas las actividades a realizar en la Reserva. A cada estudiante se le entregará una merienda con alimentos para día.

Las actividades se describen a continuación.

Charla de bienvenida

La administración de la Reserva efectuará una charla informativa en donde se describirá la Reserva y se explicarán sus objetivos y actividades principales.

Reconocimiento y navegación en terreno

Mediante el uso de fotografías aéreas, cartografía IGM, e instrumentos de apoyo (brújula y GPS) los estudiantes deberán recorrer las rutas asignadas a cada grupo y efectuar una actualización de la cartografía disponible para la Reserva.

Reconocimiento de especies de flora y vegetación

Cada grupo deberá confeccionar un herbario con las especies de flora que encuentre en su ruta, y deberá identificarlas con su nombre científico. Cada ejemplar recolectado deberá estar referido al tipo de vegetación al que pertenece de acuerdo a sistema de clasificación COT que será explicado (se entregará guía de apoyo).

Medición de árboles de pie

Cada grupo deberá medir el grupo de árboles asignado y construir una tabla de datos de los mismos. A partir de los datos de diámetro (dap) y altura total (h) deberán obtener los valores de volumen y biomasa usando las ecuaciones que serán proporcionadas para tal efecto.

Evaluación de las áreas de merienda y educación ambiental

Los grupos se reunirán en el área de merienda en donde harán un reporte oral de sus actividades y compartirán sus experiencias con los demás grupos. Como última actividad del día se realizará una charla acerca de educación ambiental y ecoturismo.

9. Uso y gestion de los recursos forestales

Horacio Bown

La gestión de los recursos naturales del planeta es un tema de profunda preocupación en todos los niveles de la actividad humana a nivel local, nacional y global. Existen pocos días en los cuales no leamos o veamos en las noticias, las crecientes presiones sobre los recursos naturales, el cambio climático, los efectos de CFC's en la capa de ozono, el aumento de los gases invernadero, y la subida de los precios del petróleo, entre otros. Una sola especie, *Homo sapiens*, presenta la habilidad de razonar y subyugar el ecosistema del planeta a sus propios propósitos. Al hacer esto, nuestra especie ha asumido la responsabilidad de las más de 10 millones de especies que caminan, se arrastran, vuelan, nadan o crecen sobre la tierra. En los últimos años se ha hecho evidente que la perpetuación de la vida en el planeta es tenue y dependiente de una gran cantidad de interacciones entre organismos y sus ambientes. De allí que también ha quedado claro que una política de *laissez faire* con respecto a los recursos naturales es incompatible con la sobrevivencia de muchas especies incluyendo posiblemente también al *Homo sapiens* (Dykstra 1994).

Sin embargo, la creciente población del planeta hace improbable creer que los recursos naturales puedan ser preservados para las futuras generaciones sin hacer un uso de ellos en la actualidad. Por lo tanto debiéramos aspirar a utilizar estos recursos sin comprometer la habilidad de ellos para satisfacer las necesidades de futuras generaciones. La gestión de recursos naturales precisamente apunta en esta dirección.

Los bosques, como recurso natural renovable, generan una amplia variedad de bienes y servicios, algunos de ellos tangibles como madera, frutos, recreación y caza, y otros menos tangibles como la protección de los suelos, la mantención de la calidad del agua y el secuestro de carbono. La complejidad de compatibilizar distintas utilidades, sumado a la fragilidad del medio forestal y el periodo de planificación involucrado en la producción forestal, hace que las acciones forestales tengan efectos múltiples, algunos de largo plazo como los que ocurren sobre los suelos y otros de corto plazo como la caída repentina de árboles por viento. Como resultado de lo anterior, la producción forestal no puede conseguirse sin un esfuerzo coherente y sostenido, de manera que cada acción condiciona en gran medida las acciones futuras. Por ello, las intervenciones silviculturales que se realizan en una propiedad forestal no pueden ser improvisadas, sino que deben ser cuidadosamente organizadas en función de objetivos bien definidos (Dubourdieu, 1993).

La gestión de recursos forestales involucra una dimensión espacial y temporal de las acciones forestales. La dimensión temporal implica conocer las acciones a seguir para cada rodal en el presente y en el futuro. La dimensión espacial implica que se deben coordinar las acciones forestales para el conjunto de rodales que constituyen una propiedad. De esta forma, la gestión de una propiedad forestal consistirá en programar la secuencia de intervenciones silviculturales que ocurren en el tiempo y en el espacio, para optimizar la satisfacción de las necesidades de las generaciones actuales y futuras, considerando restricciones de orden económico, social, ambiental y legal, entre otros. La equidad intergeneracional, esto es que las generaciones futuras tengan a lo menos los mismos recursos que las generaciones actuales, es central en la gestión de los ecosistemas forestales.

Una de las tareas fundamentales de la ingeniería forestal entonces consiste en prescribir las acciones a seguir para el conjunto de rodales que conforman un patrimonio forestal. Generalmente este

programa de intervenciones para cada rodal tendrá uno o más objetivos bien definidos que se persiguen. Los objetivos pueden orientarse a la conservación de la biodiversidad, al secuestro de carbono, a la producción de madera, a la restauración ambiental o a la protección de los suelos, entre otros. Generalmente los elementos de una prescripción consideran la clasificación de uso de la tierra y de los bosques (Figura 9.1), la programación de actividades silviculturales y la predicción de flujos y stocks de materia y energía en el ecosistema forestal.

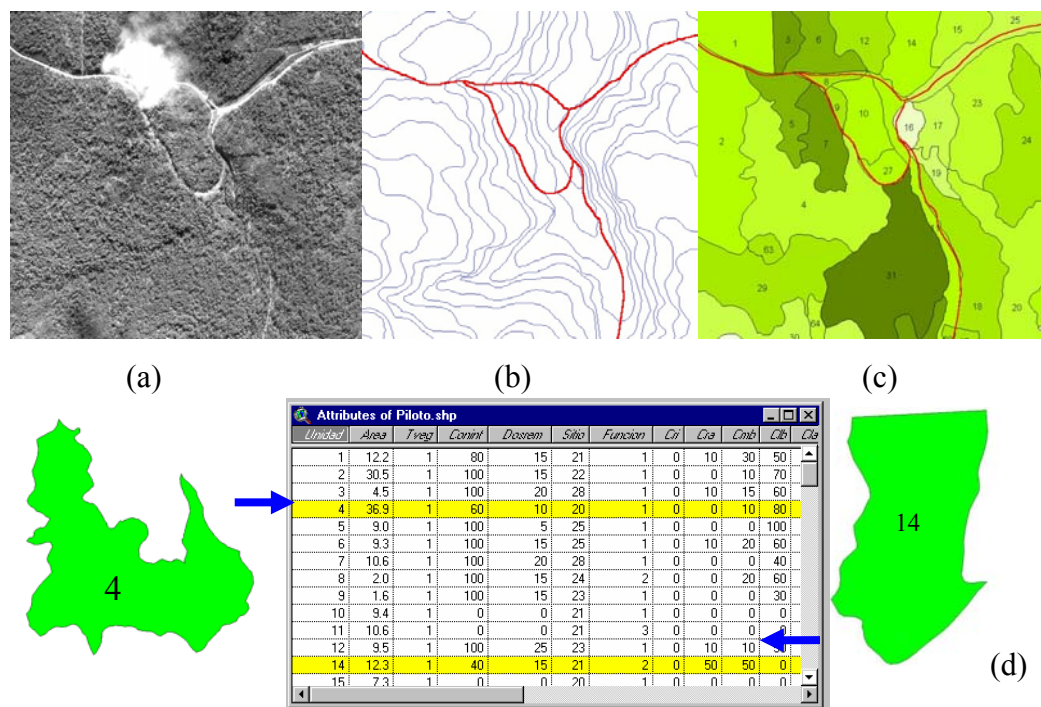


Figura 9.1. Clasificación de uso de la tierra y caracterización de los bosques. (a) Presenta una fotografía aérea del área de estudio, (b) presenta la caracterización física del terreno mediante curvas de nivel y obras de desarrollo (caminos), (c) presenta la caracterización de los rodales, (d) presenta la representación espacial y caracterización forestal de dos rodales que aparecen en figura (c).

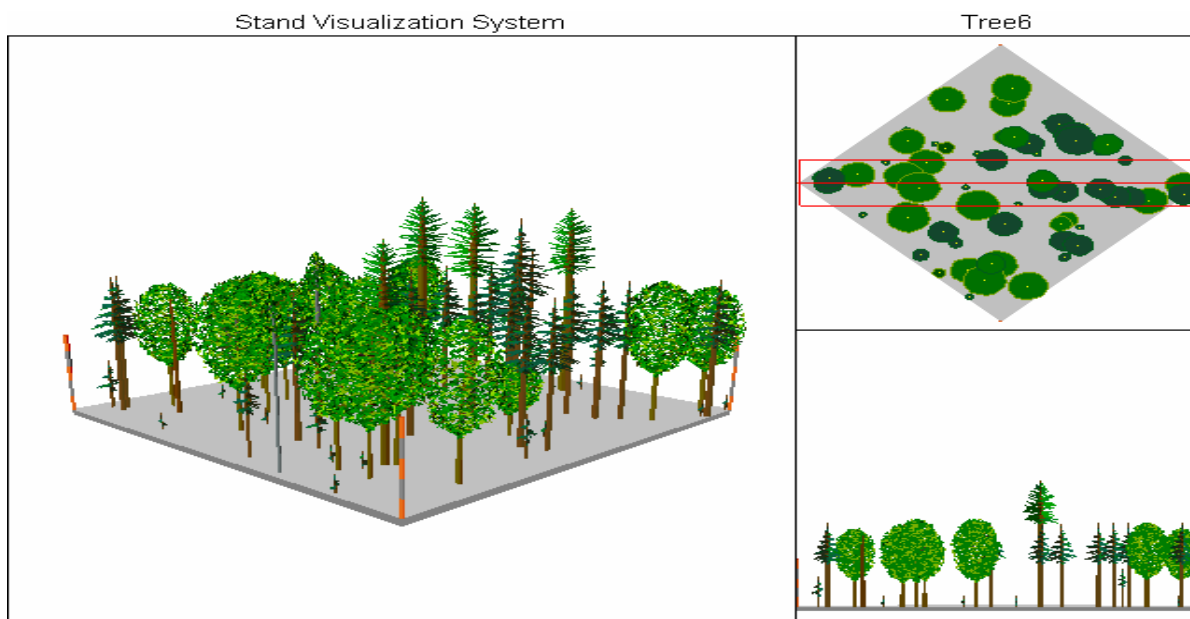


Figura 9.2. Caracterización de la estructura vertical y horizontal de un rodal. Este corresponde al diagnóstico inicial de un rodal que se utilizará para prescribir las intervenciones que se realizarán en el de acuerdo a los objetivos perseguidos y considerando las restricciones de orden ambiental, económico, social y legal que se requieran cumplir. Fuente: Stand Visualization System (2002), USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Una vez que se ha clasificado la tierra, se han caracterizado los bosques y se ha programado las intervenciones silviculturales, usualmente se deben predecir los efectos de dichas intervenciones en términos de flujos y stocks de materia y energía. En el caso más sencillo, cuando el objetivo es la producción de biomasa, se utilizan los llamados modelos de crecimientos y rendimientos para predecir el estado del bosque a través del tiempo y los flujos de productos que se obtendrán (Figura 9.3 a). En casos más complejos, se deberán usar modelos que permitan predecir los indicadores para cada uno de los objetivos que se persigan (Figura 9.3 b).

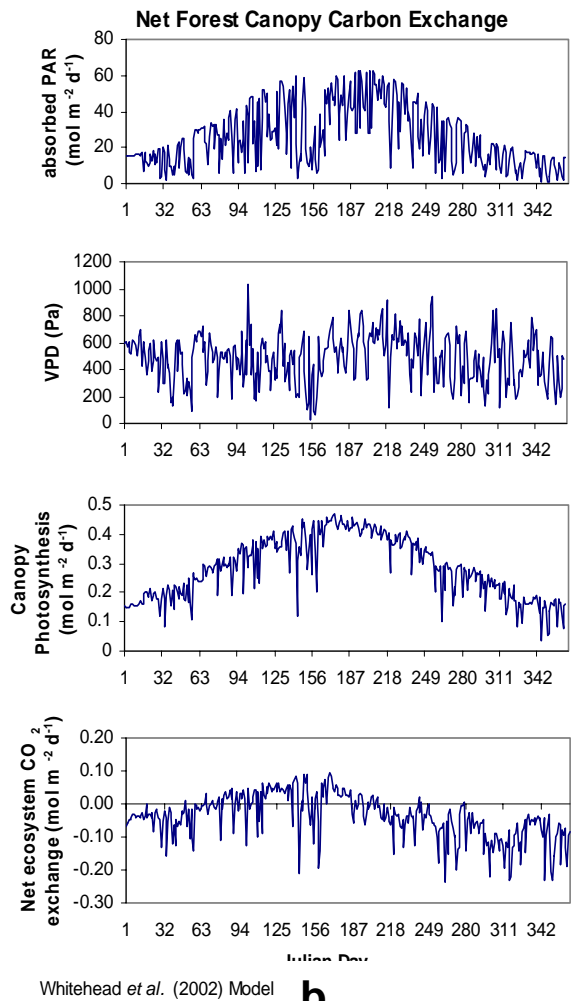
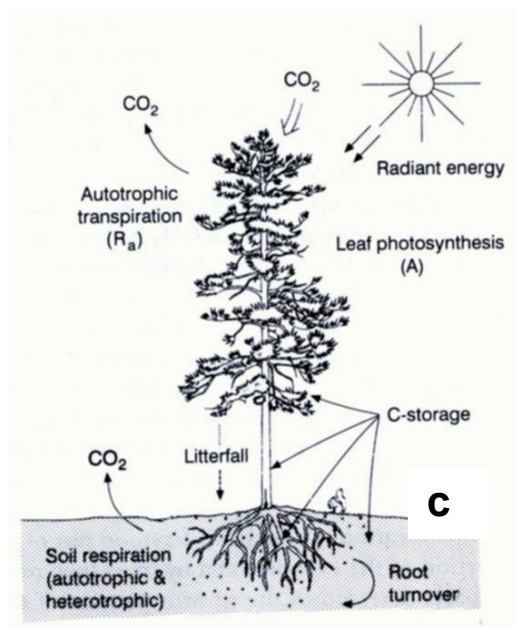
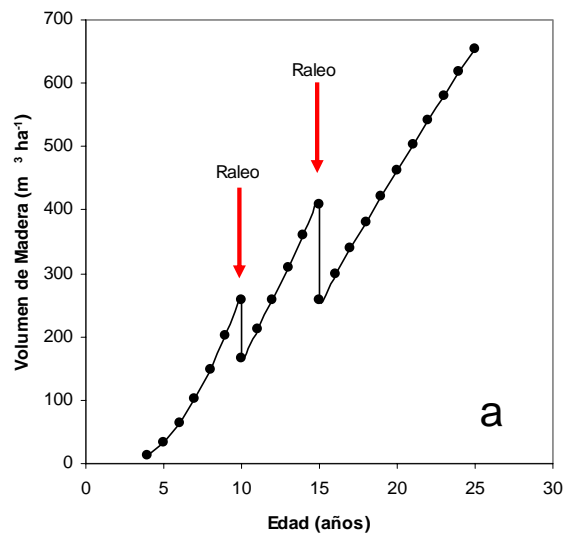


Figura 9.3. Modelos utilizados para predecir el efecto que las intervenciones silviculturales tendrán sobre los flujos de materia y energía en ecosistemas forestales. (a) Modelo de crecimiento para *Pinus radiata* en la Isla Norte de Nueva Zelanda (Methol, 2001) (b) Modelo de Intercambio Gaseoso de Whitehead et al. (2002), (c) Muestra la complejidad de modelar flujos de materia y energía al considerar diferentes procesos fisiológicos.

Para asegurar que los bosques cumplan plena y continuamente sus múltiples funciones, tradicionalmente se estableció el cumplimiento de tres condiciones mínimas: persistencia, máximo rendimiento y rentabilidad. La condición de persistencia se refiere a que el bosque no deje de ocupar el suelo por un periodo de tiempo significativo. Por ejemplo, en bosques de Lenga en Magallanes (Figura 9.4), el método silvicultural de cortas de protección asegura esta condición mediante la regeneración del bosque bajo un dosel protector (Corta de Regeneración). El dosel protector es removido sólo después de asegurar que la regeneración se encuentra establecida (Corta Final). La condición de persistencia requiere necesariamente considerar además la estabilidad del bosque.

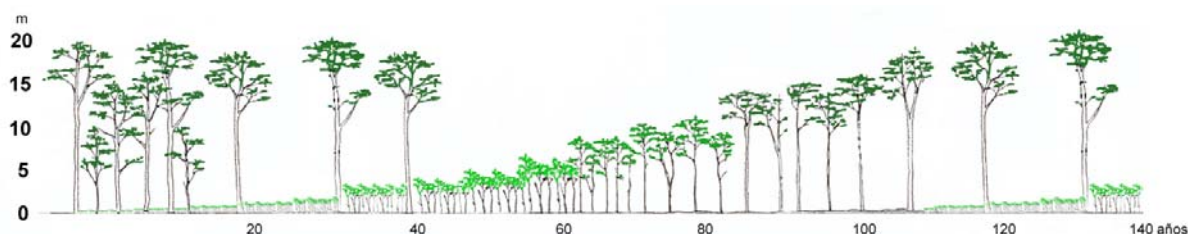


Figura 9.4. Sistema de cortas de protección en bosques de Lenga en Magallanes.

La condición de máximo rendimiento implica la optimización de las diferentes utilidades que pueden obtenerse de los bosques. Ante la dificultad de optimizar producciones complejas, generalmente se ha optado por definir una producción preferente y producciones subordinadas (Madrigal, 1995). Tradicionalmente en Chile, la producción preferente para los bosques nativos ha sido para madera aserrada y leña, aún cuando aparecen presiones crecientes por otras utilidades tales como recreación y turismo. A modo de ejemplo, en los bosques privados de Lenga en Magallanes, la producción preferente continua siendo la madera, y así el cumplimiento de la condición de máximo rendimiento, se logra a través de la aplicación del sistema de cortas de protección y cortas intermedias, que permiten optimizar la producción reduciendo la rotación natural de 280-300 años a 110-140 años bajo condiciones de manejo (Figura 9.4).

La condición de rentabilidad implica la previsión de oferta física del bosque en el tiempo, lo que depende directamente del modelo de organización y desarrollo del patrimonio. En un enfoque simplista orientado a la producción de madera, se asume que la biomasa acumulada en un bosque constituye el capital mientras que el crecimiento representa el interés. De esta forma, se debe utilizar la renta física hasta un nivel que no implique una descapitalización del bosque.

Tradicionalmente, la gestión forestal se ha fundamentado en dos nociones fuertemente arraigadas. La primera de ellas es que el agente productor controla una superficie considerable de bosques y que sus medios de producción son lo suficientemente amplios como para no representar un factor limitante en las decisiones de la organización. La segunda noción es que la producción maderera debe ser controlada por un sistema orientado hacia la obtención de un flujo continuo y permanente de beneficios económicos. Estas consideraciones dieron origen a la idea de organizar un patrimonio con el fin de lograr un rendimiento máximo y sostenido (Mendoza, 1993).

La condición de rendimiento sostenido del conjunto de utilidades que generan los bosques es un objetivo de largo plazo, al que gradualmente se tiende, al avanzar desde el bosque actual al bosque ideal. La condición de rendimiento sostenido implica una estructura ideal que supone una distribución equilibrada de clases de edad o dimensiones. Esto asegura una renta física sostenida en el tiempo (ejemplo en Figura 9.5), que permite al mismo tiempo la mantención de otros equilibrios

de orden económico, social y ambiental. Esta fue la forma en que países desarrollados, notablemente, Alemania, Francia y posteriormente Estados Unidos y Canadá, abordaron la sustentabilidad de sus bosques a partir del siglo XVIII.

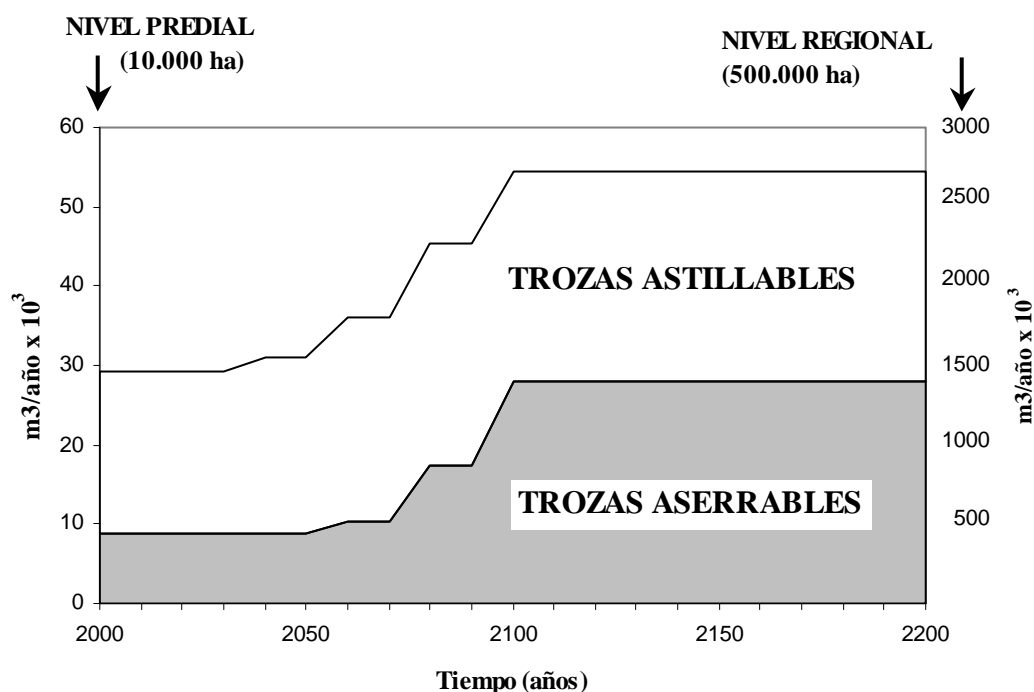


Figura 9.5. Posibilidad de corta a nivel predial (10.000 ha) y nivel regional (500.000 ha) en bosques de Lengua en Magallanes.

El concepto de rendimiento sostenido, que corresponde a una aspiración o condición deseable, implica la mantención de un flujo permanente, constante y máximo de bienes y servicios del bosque para satisfacer las necesidades de la sociedad en forma continua (Whyte, 1994).

La ventaja de esta condición es que permite obtener periódicamente aproximadamente igual volumen de productos de similar tamaño, calidad y valor. Lo anterior permite un balance positivo entre costos e ingresos y provee las bases para que la operación económica sea factible. Además, la condición de rendimiento sostenido facilita la continuidad de empleo debido a que cada año se debe repetir las mismas actividades culturales del año anterior.

El logro de la condición de rendimiento sostenido, permite que el bosque se utilice a plena capacidad productiva. Esto implica que para un bosque de un tamaño dado se obtiene una cantidad de productos máxima y permanente. Un nivel superior de cosecha no se puede sustentar en el tiempo.

Bajo la condición de rendimiento sostenido, el bosque se mantendrá creciendo vigoroso, y usualmente bien distribuido en cuanto a clases de edad, lo que permite la mayor compatibilidad entre producción maderera y otros usos; como son, la recreación, la mantención de la vida silvestre, la protección de las cuencas y la producción de forraje, entre otras. Además se logra mayor higiene y seguridad frente a incendios, insectos, enfermedades y otros agentes de daño (Whyte, 1994).

La forma más simple de lograr esta condición es mediante el método de regulación por área. En este método, el propósito fundamental es transformar el bosque actual a un bosque ideal en el mínimo de tiempo. El método propone cosechar y regenerar la misma superficie cada año considerando como principal parámetro la longitud de la rotación (lapso de tiempo entre la regeneración del bosque y su cosecha). La fórmula de cálculo de la superficie a regenerar en cada año o periodo de ordenación consiste entonces en dividir la superficie total por la rotación y expandirla al periodo de ordenación:

$$A_r = \frac{A}{R} \times p$$

donde;

A_r : Área cosechada y regenerada en el periodo de aplicación de la ordenación

A : Superficie del cuartel

R : Longitud de la rotación

p : Periodo de aplicación de la ordenación

Ejemplo 9.1. El predio Monte Alto posee una superficie de 18.000 ha, de las cuales 11.711 ha corresponden a bosques mayoritariamente de Lenga (*Nothofagus pumilio*). Se ubica en la Comuna de Puerto Natales, Provincia de Última Esperanza, XII Región. Para efectos de la ordenación del predio se identificaron tres cuarteles, dos de producción y uno de protección. El primer cuartel (8.926 ha) corresponden a bosques de Lenga sobre 16 m, que serán manejados con una rotación de 120 años. El segundo cuartel (968 ha) corresponden a bosques de Lenga entre 12 y 15 m, que serán manejados con una rotación de 140 años. El tercer cuartel (1.455 ha) corresponde mayoritariamente a bosques de Lenga bajo 12 m y bosques húmedos de Lenga-Nirre de protección que no serán intervenidos. Calcular la superficie a cosechar y regenerar para cada cuartel considerando periodos de ordenación de 20 años.

Resolución 9.1.

Cuartel I. Bosques de Lenga de producción sobre 16 m (8.926 ha)

$$A_r^I = \frac{A}{R} \times p = \frac{8.926 \text{ ha}}{120 \text{ años}} \times 20 \text{ años} = 1.488 \text{ ha / periodo}$$

Cuartel II. Bosques de Lenga de producción entre 12 y 15 m (968 ha)

$$A_r^{II} = \frac{A}{R} \times p = \frac{968 \text{ ha}}{140 \text{ años}} \times 20 \text{ años} = 138 \text{ ha / periodo}$$

Cuartel III. Bosques de protección (1.455 ha)

No será intervenido.

-Fin Ejemplo-

Distribución de clases de edad

Para llevar a cabo la ordenación, se requiere conocer cómo se distribuye la superficie de un patrimonio forestal en las distintas clases de edad. Además, si el patrimonio se compone de varios tipos de bosques (cuarteles) será necesario conocer la distribución de clases de edad en cada uno de ellos.

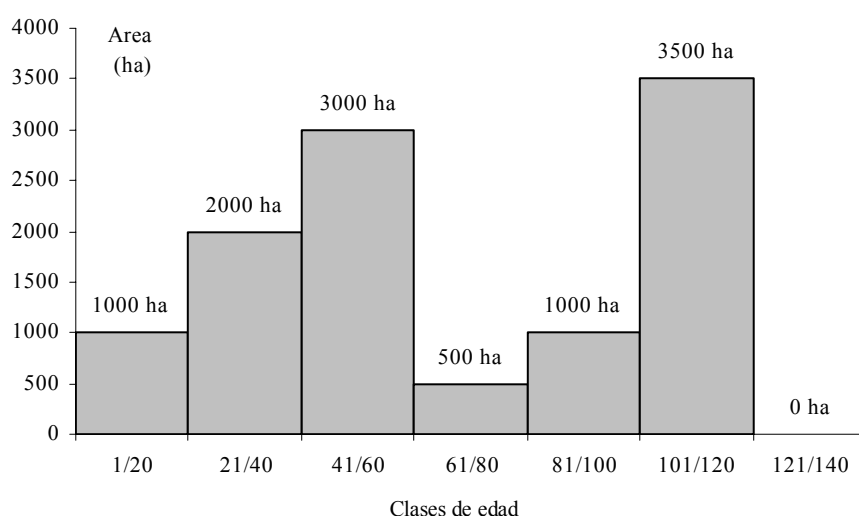


Figura 9.6. Histograma de edades para un patrimonio ejemplo de 11.000 ha

Una distribución de clases de edad corresponde a las frecuencias en superficie de las edades presentes. Generalmente las edades se agregan en clases de igual intervalo para simplificar el análisis y se representan mediante histogramas. En la figura 9.6 se presenta el histograma de edades para una propiedad forestal de 11.000 ha considerando clases de edad de 20 años.

Los histogramas permiten describir la estructura patrimonial en un punto en el tiempo. De esta forma, la evolución de un patrimonio se puede representar a través de una secuencia de histogramas o distribuciones de clases de edad, que reflejan una estrategia de ordenación específica.

Proyección de distribuciones de clases de edad

La proyección de distribuciones de clases de edad es un proceso que consiste en transformar una distribución actual en una distribución futura considerando una estrategia de ordenación específica. Dicha estrategia de ordenación se traduce en que el patrimonio será parcial o totalmente intervenido, por lo que la superficie se moverá de clase de edad. En el caso más sencillo, cada

hectárea puede ser cosechada o no. Si es cosechada debiera ser inmediatamente regenerada por lo cual pasa a formar parte de la primera clase de edad en el siguiente periodo. Si no es cosechada, pasa a formar parte de la siguiente clase de edad en el siguiente periodo debido a que envejece.

Para realizar la proyección de distribuciones de clases de edad se deben tomar algunas decisiones y realizar algunos supuestos. Entre las decisiones se encuentra la elección del intervalo de proyección y de la estrategia de ordenación. El intervalo de proyección generalmente se hace coincidente con el intervalo de las clases de edad, pero ambos debieran ser elegidos en función del nivel de detalle requerido por el ordenador. La elección de la estrategia de ordenación, en el caso más sencillo, consistirá en elegir una longitud de rotación, calcular la superficie a regenerar y cosechar comenzando por las clases de edad superiores hacia las inferiores.

Una vez explicitadas las decisiones y los supuestos, se procede a proyectar la distribución de clases de edad. Los pasos a seguir para lograr el bosque ideal son los siguientes:

- i) Seleccionar la rotación deseada para el bosque regulado.
- ii) Calcular el número de hectáreas que serán cosechadas cada periodo, dividiendo la superficie total del cuartel por la edad de rotación multiplicado por la amplitud del periodo de ordenación.
- iii) Proyectar la distribución de clases de edad, de periodo en periodo moviendo la superficie cosechada a la primera clase de edad y las superficies no cosechadas a la siguiente clase de edad en el siguiente periodo.
- iv) Calcular el volumen cosechado, multiplicando el rendimiento por hectárea por el área cosechada. Además se deben agregar los volúmenes de las cortas intermedias si existieran.
- v) Repetir los pasos 3 y 4 hasta que la distribución de clases de edad proyectada se encuentre regulada.

Ejemplo 9.2. Considere que la estructura actual de un patrimonio forestal viene dado por la distribución de frecuencias e histograma de la figura 9.3. Proyectar la distribución de clases de edad a través del método de regulación por área, considerando una rotación de 120 años.

Resolución 9.2 El primer paso para proyectar las distribuciones de clases de edad consiste en calcular la superficie a regenerar en cada periodo de ordenación. Este valor se calcula a continuación considerando una superficie total de 11.000 ha, una rotación de 120 años y periodos de 20 años:

$$A_r = \frac{A}{R} \times p = \frac{11.000 \text{ ha}}{120 \text{ años}} \times 20 \text{ años} = 1.833 \text{ ha / periodo}$$

Una vez conocida la superficie que será regenerada en cada periodo (1.833 ha), se procede a proyectar las clases de edad considerando una política de corta específica. Esta política consiste en cubrir la superficie a cosechar en cada periodo (1.833 ha) comenzando desde la última clase de edad y avanzando hacia las menores (cuadro 9.1).

Para simplificar el proceso se construye una tabla de superficies remanentes (cuadro 9.1a) y una tabla de superficies cosechadas (cuadro 9.1b). La tabla de superficies remanentes representa las

distribuciones de clases de edad al final de cada periodo. La tabla de superficies cosechadas muestra para cada periodo la superficie cortada en cada clase de edad.

El cuadro 9.1 presenta la distribución de edades a lo largo de un horizonte de planificación de 200 años. Por conveniencia, tanto edades como tiempo han sido agregados en intervalos de 20 años. La figura 9.7 muestra la evolución de las distribuciones de clases de edad a lo largo del horizonte de planificación, de acuerdo a la política de ordenación adoptada.

Para proyectar la distribución de clases de edad desde el año 0 al año 20, se debe cosechar 1.833 ha de la mayor clase de edad (3.500 ha). Como resultado de ello, se debe anotar en la tabla de superficies cosechadas 1.833 ha en la clase de edad 101-120 en el primer periodo. La diferencia entre la superficie remanente (3.500 ha) y la superficie cosechada (1.833), se mueve a la siguiente clase de edad en el próximo periodo como resultado de que no fue cosechada (1.667 ha). La superficie cosechada (1.833 ha) debe ser regenerada inmediatamente por lo que pasa a formar la primera clase de edad al final del primer periodo. Las superficies no cosechadas se mueven a la siguiente clase de edad al final del primer periodo. El proceso continúa con la misma dinámica hasta el final del horizonte de planificación.

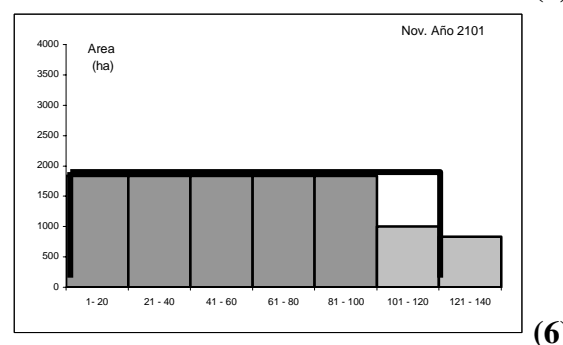
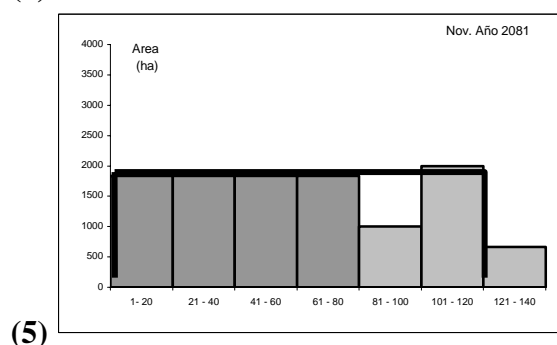
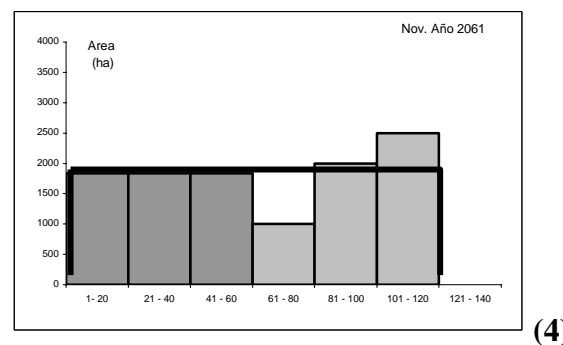
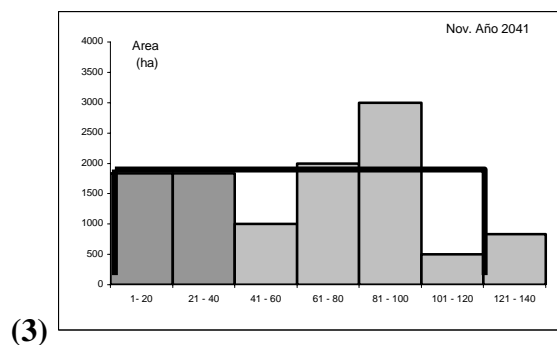
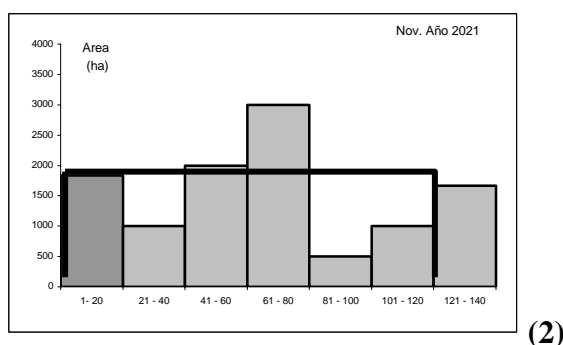
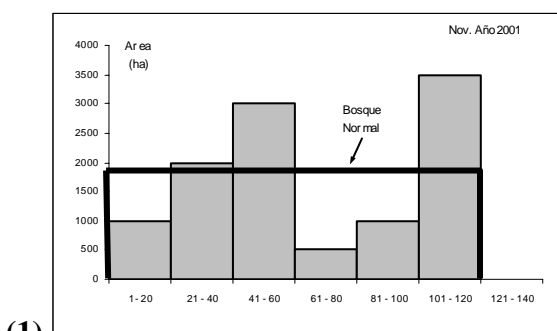
Cuadro 9.1. Proyección de distribuciones de clases de edad basada en el método de regulación por área

(a)	Tiempo	Superficie remanente por clase de edad (ha)						(a)
		101-						
		1-20	21-40	41-60	61-80	81-100	120	121-140
	1-20	1.000	2.000	3.000	500	1.000	3.500	0
	21-40	1.833	1.000	2.000	3.000	500	1.000	1667
	41-60	1.833	1.833	1.000	2.000	3.000	500	834
	61-80	1.834	1.833	1.833	1.000	2.000	2.500	0
	81-100	1.833	1.834	1.833	1.833	1.000	2.000	667
	101-120	1.833	1.833	1.834	1.833	1.833	1.000	834
	121-140	1.833	1.833	1.833	1.834	1.833	1.833	0
	140	1.834	1.833	1.833	1.833	1.834	1.833	0
(b)	Tiempo	Superficie cosechada por clase de edad (ha)						(b)
		101-						
		1-20	21-40	41-60	61-80	81-100	120	121-140
	1-20						1.833	
	21-40						166	1667
	41-60					500	500	834
	61-80						1.833	
	81-100						1.166	667
	101-120						1.000	834
	121-140						1.833	

Guía de Ejercicios

El ejemplo presentado es sencillo por necesidad pero ilustra el enfoque más simple para asegurar que en el largo plazo el bosque mantendrá su capacidad de producir bienes y servicios en forma sostenida en el tiempo. Existen numerosos métodos para programar la secuencia de intervenciones que ocurren en el tiempo y en el espacio en un patrimonio forestal, algunas de ellas consideran varios objetivos simultáneamente. Estas materias se ven hacia los últimos años de la carrera.

Nosotros en esta sesión usaremos distintos modelos para predecir los flujos de materia de los ecosistemas forestales, y posteriormente repetiremos el ejemplo 9.2 realizándolo en forma manual, para posteriormente realizarlo en forma automática en una planilla EXCEL.



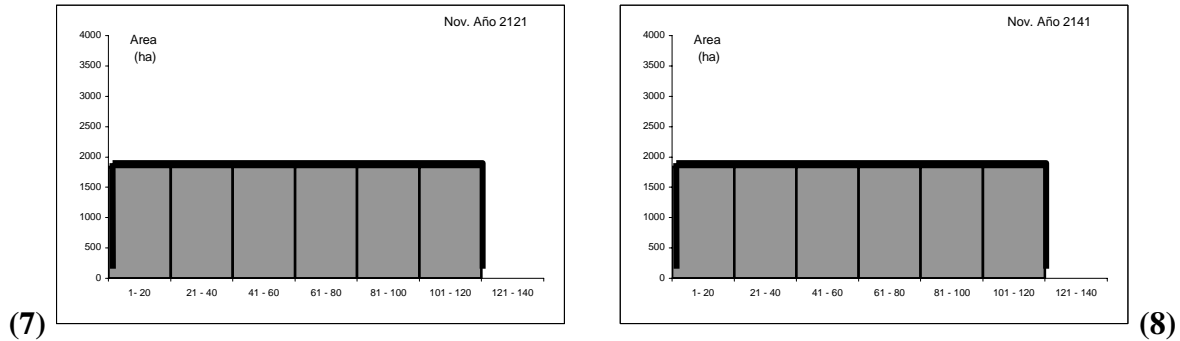


Figura 9.7. Proyección de distribuciones de edades mediante el método de regulación por área

BIBLIOGRAFÍA

Dubourdieu, J. 1993. Manual de Ordenación de Montes. Office National del Forêts. Traducido por Antonio Prieto Rodríguez y Manuel López Quero. Editorial Paraninfo, Madrid, España.

Dykstra, D. P. 1984. Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill, New York, USA.

Madrigal, A. 1995. Ordenación de Montes Arbolados. Colección Técnica ICONA. Madrid, España.

Mendoza, M. A. 1993. Conceptos Básicos de Manejo Forestal. Uteha, Noriega Editores, México.

Whitehead, D., G.M.J. Hall, A.S. Walcroft, K.J. Brown, J.J. Landsberg, D.T. Tissue, M.H. Turnbull, K.L. Griffin, W.S.F. Schuster, F.E. Carswell, C.M. Trotter, I.L. James and D.A. Norton 2002. Analysis of the growth of rimu (*Dacrydium cupressinum*) in South Westland, New Zealand, using process-based simulation models. International Journal of Biometeorology. 46:66-75.

Whyte, G. 1994. Principles of Management. Course Notes 1994 Academic Year. New Zealand School of Forestry, University of Canterbury.

Methol, R. 2001. Comparisons of approaches to modelling tree taper, stand structure and stand dynamics in forest plantations. Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in the University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

10. CONSERVACIÓN EN ECOSISTEMAS FORESTALES

Cristián Estades M.

Introducción

Desde su origen, y más intensamente desde el desarrollo de la agricultura, la actividad humana ha cambiado el paisaje natural, destinando grandes extensiones de tierra para usos productivos, asentamientos humanos o vías de acceso. El cambio del uso del suelo ha sido uno de los factores más importantes en la dramática reducción de la cobertura de bosques naturales y el aumento del nivel de fragmentación de las superficies remanentes de estos ambientes (Didham et al. 1996).

La reducción del área total cubierta por los bosques y el aislamiento entre fragmentos puede resultar en la extinción local de algunas especies debido a eventos demográficos, ambientales o genéticos aleatorios. Esta pérdida de especies puede llevar a cambios en las condiciones abióticas y bióticas.

La necesidad de áreas para pastoreo, cultivos agrícolas y plantaciones forestales, ha tenido como resultado una dramática fragmentación y reducción del área que ocupaban originalmente los bosques nativos.

La fragmentación y destrucción del bosque, y los cambios en su estructura producto de la explotación maderera y extracción de leña, afectan las poblaciones de animales, aumentando su probabilidad de extinción.

Tradicionalmente, para definir áreas de conservación consultaríamos a expertos y analizaríamos la literatura. Luego, mediante diversos criterios, estableceríamos prioridades. Propuestas más recientes se han basado en exhaustivos trabajos de exploración de la naturaleza.

Conservación del bosque nativo en Chile

La destrucción y deterioro del bosque nativo son percibidos como uno de los principales problemas de conservación en el país. Se estima que entre 1974 y 1992 se han sustituido más de 200.000 hectáreas de bosques nativos en Chile (Lara, 1993).

La conversión de bosques nativos en plantaciones, la producción de leña y carbón, la producción de astillas y otras causas de destrucción han implicado una drástica reducción de los hábitats de muchas especies de fauna silvestre (Lara et al. 1996).

Pese a que en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE) protege cerca del 18% de la superficie nacional continental, sólo un 10.3% del total protegido corresponde a bosques (Chile Forestal, 1992).

Sitios Prioritarios para la Conservación Biológica.

Estos sitios representan un caso especial, ya que existe un reconocimiento científico nacional al respecto. Se considera la búsqueda de Sitios Prioritarios una tarea dinámica, a escala regional, por ser éste el ámbito geográfico y administrativo en que se realiza la gestión y manejo de las áreas protegidas.

Se ha constatado que existe preocupación de algunas autoridades comunales y propietarios por la conservación del bosque. Existe una fuerte tendencia a la concentración de la propiedad en grandes empresas forestales, provocando serios problemas de desarraigo a escala comunal.

Manejo de Ecosistemas

En las últimas décadas, la alarmante tasa de extinción de especies y la evidente pérdida de funcionalidad de muchos ecosistemas forestales han llevado a los investigadores y manejadores a cuestionar la viabilidad en el largo plazo del modelo del manejo intensivo de bosques. Adicionalmente, la creciente demanda por servicios no madereros de los bosques (ej. recreación, hábitat para fauna y flora, producción de agua, etc.) y la oposición del público a prácticas como el uso de herbicidas o la tala rasa comenzaron a crear las condiciones necesarias para el resurgimiento de una corriente de manejo de bosques basada en criterios ecosistémicos.

La idea de la sustentabilidad del manejo de recursos forestales ya forma parte de los objetivos fundamentales de la gran mayoría de las agencias gubernamentales a través del mundo. Sin embargo, en la práctica, las estrategias de manejo utilizadas en gran parte del planeta se han orientado a la maximización de los rendimientos de corto plazo más que a la sustentabilidad de largo plazo (Christensen et al., 1996). Franklin (1997) propone dos principios detrás del concepto de sustentabilidad, los que son prevenir la degradación de la capacidad productiva del ecosistema y prevenir la acelerada pérdida de diversidad genética (incluyendo especies) dentro de los ecosistemas.

La gran cantidad de servicios que proveen los bosques (Lara et al., 2003), muchos de los cuales aún no se entienden apropiadamente, hacen que la valoración de estos ecosistemas por la sociedad sea incompleta. Por ejemplo, muchos de los ecosistemas artificiales de alta productividad (cultivos, plantaciones forestales, etc.) dependen de manera importante de los ecosistemas naturales que los rodean (Lubchenco et al., 1993).

Por otro lado, existe la certeza de que actividades concretas del manejo forestal pueden afectar la función de los ecosistemas. Por ejemplo, la presencia de caminos pueden alterar significativamente el funcionamiento de ecosistemas forestales a través de la modificación del movimiento de organismos y materia inerte. Esto puede derivar en resultados tan diversos como reducción de la fauna de invertebrados del suelo (Haskell, 2000) o un aumento de la depredación de nidos de aves (Small y Hunter, 1988) o la alteración del ciclo hídrico (Harr et al., 1975).

El manejo de ecosistemas (ME) es un sistema de manejo de recursos naturales diseñado para mantener o mejorar la salud y productividad ecosistémica y al mismo tiempo producir bienes y servicios para satisfacer las necesidades humanas, dentro de límites de riesgo social, biológica y económicamente aceptables (American Forest and Paper Association, 1993).

El ME se focaliza en las condiciones del ecosistema con el fin de mantener la productividad de los suelos y conservar genes, biodiversidad, los patrones del paisaje y todo el conjunto de procesos ecológicos (Society of American Foresters, 1992).

El manejo de ecosistemas forestales implica un enfoque en el nivel de paisaje. El uso de unidades como rodales o cuarteles puede resultar adecuado para el manejo de bosques con fines exclusivamente madereros, pero elementos como la calidad del agua o la fauna silvestre, entre otros, funcionan a escalas mayores.

La interacción entre distintos tipos de ecosistemas en un paisaje a través del flujo de energía y materia entre ellos hace que no sea posible concebir el manejo de un ecosistema en completa independencia de su entorno.

Aunque el ME entrega un marco amplio en el cual basar la gestión de los recursos forestales su implementación práctica aún encuentra serias limitaciones. Por ejemplo, desde el punto de vista del retorno económico derivado de los productos madereros, el manejo “sustentable” es menos rentable que el manejo “no sustentable” por el efecto de la tasa de descuento (Pearce, 2001). En la medida que los mercados para los bienes y servicios no tradicionales de los ecosistemas forestales no se desarrollen, las opciones al manejo intensivo (extractivo) son escasas (Pearce, 2001).

Las restricciones económicas mencionadas en los párrafos anteriores se hacen más graves en países en desarrollo, donde no sólo las tasas de descuento tienden a ser más altas sino que también existe una menor demanda de protección ambiental por parte de la sociedad. Además, tanto la información ecológica requerida para hacer ME como la institucionalidad necesaria para asegurar su buen funcionamiento (ej. sistemas de monitoreo y control, etc.) son insuficientes.

El desafío de la instauración del ME como paradigma efectivo de manejo sustentable de bosques en el país requerirá cambios en distintos ámbitos. Por ejemplo, en el ámbito institucional es fundamental el desarrollo de un sistema de clasificación de ecosistemas como unidades de conservación (actualmente sólo existen en Chile algunas listas de especies amenazadas) asociado a una normativa sobre conservación.

Finalmente, en el ámbito de la investigación existe un sinnúmero de temas fundamentales de abordar entre los que se pueden mencionar: El manejo de zonas de amortiguamiento, la relación de las áreas protegidas con su entorno, el establecimiento de sistemas de monitoreo e identificación de especies indicadoras (Lindenmayer et al., 2000), el efecto de las especies exóticas en los ecosistemas (Vitousek, 1990), la conectividad del paisaje y corredores biológicos (Hansson 1991; Hill, 1995), o el efecto de organismos transgénicos en los ecosistemas (Altieri, 2000), entre muchos otros.

Manejo de Fauna Silvestre

Los bosques y otros ambientes dominados por árboles son hábitat de una gran cantidad de especies animales. Por esta razón, dentro de las actividades involucradas en el manejo forestal se incluye el manejo de la fauna que habita en estos ambientes.

Las razones por las cuales se maneja la fauna silvestre son diversas, pero desde el punto operativo, éstas pueden agruparse en dos grandes objetivos:

- A. Mantener o aumentar las poblaciones de alguna especie o grupo de especies de interés.
- B. Disminuir las poblaciones (o el efecto) de especies consideradas perjudiciales (plagas).

Hábitat y nicho

El concepto de hábitat es fundamental en el manejo de fauna silvestre. Tanto las causas que motivan el manejo de fauna como la mayoría de las técnicas que se aplican en él se basan en el ambiente donde viven los animales.

En pocas palabras, el hábitat de una especie es el lugar (espacio) donde ésta vive. Una definición más específica establece que el hábitat es el lugar que reúne todas las condiciones y recursos necesarios para que una especie sobreviva, se desarrolle y se reproduzca. La calidad del hábitat se define como la capacidad que tienen los individuos que viven en él de reproducirse y traspasar sus genes a las generaciones futuras ("fitness" o adecuación biológica). Este último concepto es de vital importancia para el manejo de fauna ya que, habitualmente, es esta variable la que se intenta manipular.

Aunque existen áreas de hábitat de buena calidad para la especie éstas pueden no estar ocupadas debido a razones como la inaccesibilidad o la extinción local de la población (Ej. por la caza). Estas zonas son denominadas "hábitat potencial".

Si el hábitat es el lugar donde vive un animal, su nicho es el rol que éste cumple en el ecosistema (Hutchinson, 1957). El concepto de nicho es también de gran importancia en el manejo de fauna puesto que es la base teórica para entender la forma en que una especie interactúa con su medio y con las otras especies con las que coexiste (Ej. competencia).

Restauración Ecológica

La rápida e intensa transformación de los paisajes naturales en áreas artificiales es, con toda certeza, la mayor fuente de amenaza para la biodiversidad a nivel mundial (Meffe y Carroll, 1995).

Tradicionalmente, algunos de los remanentes de ecosistemas naturales han sido apartados de los usos tradicionales y mantenidos como reservas o parques nacionales como una forma de preservar "muestras" de estos sistemas naturales para las generaciones siguientes y asegurar la existencia de un valioso patrimonio ecológico.

Así, una componente importante de los programas de conservación a través del mundo ha sido la priorización de áreas de conservación en base a atributos como los de diversidad, singularidad, y estado actual de preservación como una forma de optimizar el uso de los recursos (ej. Ginsberg, 1999, Myers et al., 2000).

Existen cuatro razones principales que explican el insignificante rol que ha jugado el manejo y restauración de ecosistemas degradados entre los conservacionistas. Durante mucho tiempo las áreas naturales e inalteradas fueron relativamente abundantes por lo que las acciones de los conservacionistas estuvieron orientadas a preservar los sistemas ya existentes. Segundo, existe la creencia extendida de que los ecosistemas restaurados son intrínsecamente inferiores a los originales. Tercero, existen quienes creen que la verdadera restauración de ecosistemas es simplemente imposible. Y en cuarto lugar está el temor entre muchos conservacionistas de que la existencia de la alternativa de la restauración ecológica puede resultar contraproducente para muchos esfuerzos de conservación al hacer menos imperativa la preservación de áreas naturales existentes (Macmahon y Jordan, 1995).

Base conceptual

Restauración ecológica se define como "el proceso de asistir en la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido" (SER, 2002). Asociada a esta disciplina existe una rama de la Ecología, la Ecología de la restauración, que se define como "el análisis de problemas ecológicos a través de la ejecución de proyectos de restauración y la concepción y puesta a prueba de ideas y conceptos relativos a la restauración" (Lake, 2001).

Desde el punto de vista científico, la relación entre la restauración ecológica y la ecología, aunque potencialmente fuerte, ha sido débil. Por un lado, existe la noción de que si existe un conocimiento acabado de un sistema complejo como un ecosistema debería ser posible el reconstruirlo a partir de sus partes. De esa forma la restauración ecológica sería una "prueba ácida" para la ecología (Bradshaw 1983, Ewel 1987) permitiendo evaluar la validez de sus supuestos y teorías al contrastarlos con experimentos reales.

La teoría de sucesiones ecológicas (Connell y Slatyer 1977) es la base de la ecología de la restauración y de igual forma la restauración ecológica se basa en gran medida en el manejo de la sucesión ecológica para lograr sus objetivos (Dobson et al. 1997).

Por otra parte, el factor de la escala es de gran importancia en la restauración de ecosistemas puesto que distintos procesos ecosistémicos ocurren a distintas escalas espaciales y temporales (Allen y Hoekstra, 1987). Así, un bosque que en condiciones naturales es mantenido por fenómenos catastróficos como deslizamientos de tierra o incendios no podrá ser recreado en áreas demasiado pequeñas como para albergar este tipo de perturbaciones, a no ser que estas perturbaciones puedan ser emuladas artificialmente.

El hecho de que ningún área pueda considerarse como completamente aislada de su entorno hace que la restauración debiera ser enfocada desde la perspectiva del paisaje (Naveh, 1994).

Dentro de las dificultades de la restauración ecológica está la definición del objetivo (MacMahon y Jordan, 1995). Uno de los problemas relacionados con la recreación de ecosistemas es el conocimiento histórico que se tiene del área a restaurar. Comúnmente, la información existente sobre la composición de las comunidades a restaurar es incompleta e inexacta, debido, justamente al deterioro que se pretende revertir (Wagner et al., 2000).

Técnicas de restauración

Desde el punto de vista metodológico, la restauración ecológica de bosques está íntimamente vinculada a la silvicultura, aunque los objetivos de la primera, que pueden ir desde la recreación de manglares (Ellison, 2000) a la transformación de plantaciones de pino en bosques de hoja caduca (Williams et al., 2002), pueden requerir de técnicas adicionales.

En términos más generales, la restauración ecológica hace uso de un sinnúmero de técnicas provenientes de disciplinas como la ingeniería forestal, silvicultura, horticultura, paisajismo, manejo de vida silvestre y la ingeniería civil, entre otras. Técnicas como el rescate y trasplante de plantas, la reforestación, las enmiendas y preparación del suelo, la modificación de cursos de agua, métodos silviculturales, la cría en cautiverio y reintroducción de fauna, etc. son sólo algunas de las actividades que pueden estar involucradas en un proyecto de restauración.

El objetivo de la restauración ecológica es la modificación y aceleración de la sucesión ecológica (Dobson et al., 1997). Limitaciones como la tasa de dispersión de colonizadores se pueden evitar a través de la siembra o plantación de propágulos (Young et al., 2001). Limitaciones en relación a las

condiciones del sitio se pueden resolver mediante fertilización, establecimiento de cubiertas protectoras o cualquier otra medida que simule el efecto de facilitación de los estadíos sucesionales tempranos.

Parte de las labores tendientes a reestablecer las condiciones originales de una comunidad pueden tener que ver con la eliminación de especies exóticas (D'Antonio y Meyerson, 2002). Muchas especies exóticas colonizan áreas degradadas y pueden eventualmente dominar las áreas a restaurar. El fuego es una herramienta comúnmente utilizada para la eliminación de especies exóticas y en la preparación de sitios a restaurar (White, 1986). Sin embargo, algunas especies invasoras tienen una alta capacidad de regenerar después de incendios por lo que esta técnica debe ser usada con cautela. Es posible que algunas especies exóticas puedan ser utilizadas en alguna etapa del proceso de restauración. Kabera (2000) describe la utilización de plantaciones de pino en la restauración de bosques tropicales mediada por la acción de aves que transportan semillas de especies nativas hacia el interior de las plantaciones. Muchas especies exóticas pueden utilizarse como preparadoras del sitio, aunque éstas deben ser posibles de eliminar cuando sea necesario.

Restauración y mantención de procesos ecológicos

La perpetuación de las áreas protegidas depende de la mantención de los procesos naturales que les dan forma. Debido a problemas de fragmentación y aislamiento de estas áreas, muchos de estos procesos se han modificado en respuesta a cambios en los patrones del paisaje o a la pérdida de especies de importancia en el funcionamiento del sistema.

Aunque la mayor parte de las especies involucradas en los proyectos de restauración son plantas, la reintroducción de especies animales es una labor de creciente importancia (Burbrink et al., 1998. Kleiman et al., 1991, Clark, 1994). Por otro lado, incluso los proyectos orientados a la restauración de la vegetación pueden ayudar de manera significativa a la restauración de algunas poblaciones animales (Morrison, 1995, Neal, 1998).

Extensión del tamaño de áreas de conservación

El problema de la existencia de áreas de conservación muy pequeñas es una de las principales amenazas a la sobrevivencia de especies de tamaño mediano a grande (Fritts y Carbyn, 1995, Shafer, 1990), así como para la persistencia de funciones ecosistémicas que actúan a grandes escalas (Allen y Hoekstra, 1987).

Creación de áreas de reproducción para especies raras

La restauración ecológica puede cumplir un rol muy importante al reducir las restricciones para la reproducción de muchas especies en áreas degradadas (ej. a través de la instalación de sitios de reproducción Spring et al., 2001, Pöysä y Pöysä 2002) o simplemente crear áreas nuevas (Estades 1996). Un ámbito donde la restauración ha jugado un papel importante en la creación de áreas de reproducción es en los humedales (Kusler y Kentula 1990, Ball et al. 1995).

Creación de corredores biológicos

La conexión de "islas" de conservación a través del uso de corredores biológicos ha sido propuesta como una medida para contrarrestar los problemas del aislamiento (Hobbs et al., 1990). La restauración ecológica puede ser una forma de generar estos "puentes" que permitan conectar poblaciones a través de migración de organismos. Así por ejemplo, en paisajes de bosque

fragmentados, la mantención de corredores de bosque entre fragmentos sería muy importante para permitir el flujo génico entre las poblaciones y así conservar la fauna.. (Diaz, 2005).

Limitaciones de la restauración ecológica

Aunque la restauración ecológica tiene un gran potencial como herramienta de conservación resulta evidente de que esta práctica tiene limitaciones que pueden ser importantes. Por ejemplo, existen numerosos casos documentados donde ecosistemas naturales son comparados con ecosistemas restaurados y donde éstos últimos resultan tener una menor calidad que los originales (ej. Kusler y Kentula, 1990, Zedler, 1993).

Si bien es cierto el beneficio económico de la rehabilitación de terrenos degradados es cuantificable con algún grado de precisión, la valoración económica de proyectos de restauración ecológica es todavía una disciplina muy poco explorada. Aunque la economía ambiental proporciona técnicas para la valoración de proyectos de conservación ecológica, la gran mayoría de éstos responden a proyectos donde los costos incrementales no son sustanciales con respecto a la inversión histórica en conservación. Así, la valoración económica de los beneficios de un Parque Nacional que ya existe puede ser sustancialmente diferente a la de los beneficios de re-crear tal parque

Por último, adicionalmente a la resistencia que muestran algunos científicos y tomadores de decisión frente a la restauración ecológica (MacMahon y Jordan, 1995), la idea de que la restauración ecológica implica la re-creación de la naturaleza a diferencia de otras actividades de conservación que protegen esta última, despierta algunas críticas entre quienes consideran antiético el replicar la labor de un "creador" (Clewell, 2001).

Referencias bibliográficas

BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, T.F.H. Y T.W. HOEKSTRA. 1987. Problems of scaling in restoration ecology: a practical application. Pp 289-299 en Jordan III, W. R., M. E. Gilpin y J. D. Aber (Eds.) Restoration Ecology. A synthetic approach to ecological research. Cambridge University Press, Cambridge.
- ALTIERI, M. A. 2000. The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. *Ecosystem Health* 6:13-23
- AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. 1993. Sustainable Forestry Principles and Implementation Guidelines. American Forest and Paper Association, Washington, D.C.
- ANDELT, W. F., K. P. BURNHAM, Y J. A. MANNING. 1991. Relative effectiveness of repellents for reducing mule deer damage. *Journal of Wildlife Management* 55:341-347.
- BALL, I.J., R.L. ENG Y S.K. BALL. 1995. Population density and productivity of ducks on large grassland tracts in northcentral Montana. *Wildlife Society Bulletin* 23:767-773
- BEGON, M, M. MORTIMER Y D.J. THOMPSON. 1996. Population ecology: a unified study of animals and plants. Blackwell, London.
- BEISSINGER, S.R. Y D. R. MCCULLOUGH (eds). 2002. Population Viability Analysis. The University of Chicago Press.
- BIBBY, C.J., N.D. BURGUESS Y D.A. HILL. 1992. Bird census techniques. Academic Press, London.
- BRADSHAW, A.D. 1983. The reconstruction of ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 20:1-17.
- BRITTINGHAM, M. C. Y S. A. TEMPLE. 1988. Impacts of supplemental feeding on survival rates of Black-capped Chickadees. *Ecology* 69:581-589.
- BROWNIE, C., D. R. ANDERSON, K. P. BURNHAM Y D. S. ROBSON. 1985. Statistical inference from band recovery data - a handbook. U. S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service Resource Publication 156.
- BUCKLAND, S.T., D.R. ANDERSON, K.P. BURNHAM Y J.L. LAAKE. 1993. Distance sampling. Estimating abundance of biological populations. Chapman y Hall, London.
- BUCKNER, C.A. Y D.J. SHURE. 1985. The response of *Peromyscus* to forest opening size in the southern Appalachian mountains. *Journal of Mammalogy* 66:299-307.
- BURBRINK, F. T., C. A. PHILLIPS Y E. J. HESKE. 1998. A riparian zone in southern Illinois as a potential dispersal corridor for reptiles and amphibians. *Biological Conservation* 86: 107-115.
- CHILE FORESTAL. 1992. Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado., 197. pp. 14-16
- CHRISTENSEN, N. L.; BARTUSKA, A.; BROWN, J. H.; CARPENTER, S.; D'ANTONIO, C.; FRANCIS, R.; FRANKLIN, J. F.; MACMAHON, J. A.; NOSS, R. F.; PARSONS, D. J.; PETERSON, C. H.; TURNER, M. G. y WOODMANSEE. R. G. 1996. The scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6: 665-691.
- CLARK, T.W. 1994. Restoration of the endangered Black-footed Ferret: a 20-year overview. Pp 272-297. en Restoration of endangered species. Conceptual issues, planning and implementation. Bowles, M.L. y C.J. Whelan (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge.
- CLEWELL, A.F. 2001. Resistance to restoration. *Ecological Restoration* 19:3-4.
- CONNELL, J.H. Y R.O. SLATYER. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *American Naturalist* 111:1119-1144.
- D'ANTONIO, C. Y L.A. MEYERSON. 2002. Exotic plant species as problems and solutions in ecological restoration: a synthesis. *Restoration Ecology* 10:703-713.
- DIDHAM, R.K., J. GHAZOUL, N. E. STORK & A. J. DAVIS. 1996. Insects in fragmented forest: a functional approach. *TREE* 11:255-260.
- DOBSON, A.P., A. D. BRADSHAW Y A. J. M. BAKER. 1997. Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology. *Science* 277:515-522.
- DODDS, P. 1997. Efecto del ramoneo de guanacos (*Lama guanicoe*) sobre la regeneración de lenga (*Nothofagus pumilio*) en Russfin, Tierra del Fuego. Tesis de grado. Universidad de Chile.

- ELLISON, A.M. 2000. Mangrove Restoration: Do We Know Enough? *Restoration Ecology* 8:219-229.
- ESTADES, C.F. 1996. Natural history and conservation status of the Tamarugo Conebill in Northern Chile. *Wilson Bulletin* 108:268-279.
- ESTADES, C.F. 1997. Bird-habitat relationships in a vegetational gradient in the Andes of central Chile. *Condor* 99:719-727.
- EWEL, J. J. 1987. Restoration is the ultimate test of ecological theory. pp 31-33 en Jordan III, W. R, M. E. Gilpin y J. D. Aber (Eds.). *Restoration Ecology. A synthetic approach to ecological research*. Cambridge University Press, Cambridge.
- FRANKLIN, J. F. 1997. Ecosystem management: an overview. Pp 21-53 en BOYCE, M.S y HANEY, A. (eds). *Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources*. Yale University Press, Connecticut.
- FRITTS, S.H. Y L.N. CARBYN. 1995. Population viability, nature reserves, and the outlook for gray Wolf conservation in North America. *Restoration Ecology* 3:26-38.
- GINSBERG, J. 1999. Global Conservation Priorities. *Conservation Biology* 13:5.
- GOTELLI, N.J. 1995. *A primer of Ecology*. Sinauer, Massachusetts.
- HADDAD, N. M., D. R. BOWNE, A. CUNNINGHAM, B. DANIELSON, D. LEVEY, S. SARGENT Y T. SPIRA. 2003. Corridor use by diverse taxa. *Ecology* 84:609-615.
- HAGARA, J., S. HOWLIN Y L. GANIOA. 2004. Short-term response of songbirds to experimental thinning of young Douglas-fir forests in the Oregon Cascades. *Forest Ecology and Management* 199: 333-347.
- HANSEN, A.J. 1987. Regulation of bald eagle reproductive rates in southeast Alaska. *Ecology* 68: 1387-1392.
- HANSKI, I. A. Y M. E. GILPIN (Eds.). 1997. *Metapopulation Biology*. Academic Press, San Diego, California.
- HANSSON, L. 1991. Dispersal and connectivity in metapopulations. *Biol. J. Linn. Soc.* 42: 89-103.
- HARR, R. D.; HARPER, W. C.; KRYGIER, J. T. y HSIEH F. S. 1975. Changes in storm hydrographs after road building and clear-cutting in Oregon Coast Range. *Water Resources Research* 11: 436-444.
- HASKELL, D. G. 2000. Effects of forest roads on macroinvertebrate soil fauna of the Southern Appalachian Mountains. *Conservation Biology* 14:57-63.
- HILL, C. J. 1995. Linear strips of rain forest vegetation as potential dispersal corridors for rain forest insects. *Conservation Biology* 9: 1559-1566.
- HUTCHINSON, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol.* 22:415-427.
- JAKSIC, F. M. 1998. Vertebrate invaders and their ecological impacts in Chile. *Biodiversity and Conservation* 7: 1427-1445.
- KABERA, I. 2000. The role of forest plantations in the restoration of tropical forests. PhD Thesis. University of Wisconsin-Madison.
- KAMIL, A.C. J.R. KREBS Y H.R. PULLIAM (eds). 1987. *Foraging behavior*. Plenum Press, New York.
- KOTAR, J. 1997. Silviculture and ecosystem management. Pp 265-275 en BOYCE, M.S y HANEY, A. (eds). *Ecosystem Management: Applications for Sustainable Forest and Wildlife Resources*. Yale University Press, Connecticut.
- KREBS, C.J. 2001. *Ecology*. Benjamin Cummings, San Francisco.
- KUSLER, J.A. Y M.E. KENTULA (Eds.) 1990. *Wetland creation and restoration. The status of the science*. Island Press, Washington.
- LAKE, P.S. 2001 On the maturing of restoration: Linking ecological research and restoration. *Ecological Management & Restoration* 2:110-115.
- LANGSTON, N. 1995. *Forest dreams, forest nightmares: the paradox of old-growth in the inland West*. University of Washington Press, Seattle.

- LARA, A.; SOTO D.; ARMESTO J.; DONOSO P.; WERNLI C.; NAHUELHUAL L. y SQUEO F. (eds.) 2003. Componentes Científicos Clave para una Política Nacional Sobre Usos, Servicios y Conservación de los Bosques Nativos Chilenos . Libro resultante de la Reunión Científica sobre Bosques Nativos realizada en Valdivia, los días 17- 18 de julio de 2003. Universidad Austral de Chile. Iniciativa Científica Milenio de Mideplan.
- LARA, A. 1993. Bosque naturales: La sustitución: ¿Dónde, cómo y cuándo?, en Actas Jornadas Forestales.
- LEVINS, R. 1969. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* 15:237-240.
- LINDENMAYER, D. B., MARGULES, C. R. y BOTKIN D. B. 2000. Indicators of biodiversity of ecologically sustainable forest management. *Conservation Biology* 14: 941-950
- LUBCHENCO, J.; RISSER, P. G., JANETOS, A. C., GOSZ, J. R.; GOLD B. D. y HOLLAND, M.M. 1993. Priorities for an environmental science agenda for the Clinton-Gore Administration: Recommendations for transition planning. *Bulletin of the Ecological Society of America* 74: 4-8.
- MACMAHON, J.A. Y W.R. JORDAN III. 1995. Ecological restoration. pp 409-437. en Meffe, G.K. y C.R. Carroll (Eds.) *Principles of Conservation Biology*. Sinauer, Massachusetts.
- MCCAY, T.S. 2000. Use of woody debris by cotton mice (*Peromyscus gossypinus*) in a southeastern pine forest. *Journal of Mammalogy* 81:527-535.
- MEFFE, G.K. Y C.R. CARROLL. 1995. *Principles of Conservation Biology*. Meffe, G.K. y C.R. Carroll (Eds.), Sinauer, Massachusetts.
- MILLS, G.S., J.B. DUNNING, JR. Y J.M. BATES. 1991. The relationship between breeding bird density and vegetation volume. *Wilson Bulletin* 103:468-479.
- MORRISON, M. L. 1995. Wildlife conservation and restoration ecology: toward a new synthesis. *Restoration and Management Notes* 13: 203-208.
- MUÑOZ, A. y R. MURÚA. 1990. Control of small mammals in a pine plantation (central Chile) by modification of the habitat of predators (*Tyto alba*, Strigiformes, and *Pseudalopex* sp., Canidae). *Acta Oecologica* 11: 251-261.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G., DA FONSECA, G.A.B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- NAVEH, Z. 1994. From biodiversity to ecodiversity: a landscape approach to conservation and restoration. *Restoration Ecology* 2:180-189.
- NEWTON, I. 1998. *Population limitation in birds*. Academic Press, London.
- PEARCE, D. W. 2001. The Economic Value of Forest Ecosystems. *Ecosystem Health* 7: 284-296.
- PERRY, R.W., R. E. THILL, P. A. TAPPE, Y D. G. PEITZ. 2004. The relationship between basal area and hard mast production in Ouachita mountains. Pp 55-59 en Guldin, J.M., (compilador). *Ouachita and Ozark Mountains symposium: ecosystem management research*. Gen. Tech. Rep. SRS 74. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- PÖYSA, H Y S. PÖYSA. 2002. Nest-site limitation and density dependence of reproductive output in the common goldeneye *Bucephala clangula*: implications for the management of cavity nesting birds. *Journal of Applied Ecology* 39: 502-510.
- ROBERTSON, H.A., J. R. HAY, E. K. SAUL Y G.V. MCCORMACK. 1994. Recovery of the Kakerori: An Endangered Forest Bird of the Cook Islands. *Conservation Biology* 8:1078-1086.
- ROSENBERG, D. K., B. R. NOON Y E. C. MESLOW. 1997. Biological corridors: form, function, efficacy. *BioScience* 47:677 687.
- SHAFFER, C.L. 1990. *Natural reserves. Island theory and conservation practice*. Smithsonian Institution Press, Washington.
- SHAFFER, M. 1987. Minimum viable populations: coping with uncertainty. Pp. 69-86 en *Viable populations for conservation*. Soulé, M.E. (ed). Cambridge University Press.

- SHEFFIELD, L.M., J. R. CRAIT, W.D. EDGE Y G. WANG. 2001. Response of American kestrels and gray-tailed voles to vegetation height and supplemental perches. *Canadian Journal of Zoology* 79: 380-385.
- SMALL, M. F. y HUNTER, M. L. 1988. Forest fragmentation and avian nest predation in forested landscapes. *Oecologia* 76: 62-64.
- SOCIETY OF AMERICAN FORESTERS. 1992. Sustaining Long-Term Forest Health and Productivity. Report of a Task Force of the Society of American Foresters. Bethesda, MD.
- SPRING, D. M. BEVERS, J. KENNEDY Y D. HARLEY. 2001. Economics of a nest-box program for the conservation of an endangered species: a reappraisal. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1992-2003.
- TOMASEVIC, J. A. 2002. Calidad de renovales de Hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser) como hábitat para aves silvestres. Memoria de título, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- VITOUSEK, P.M. 1990. Biological invasions and ecosystem processes: toward an intergration of population biology and ecosystem studies. *Oikos* 57:7-13.
- WAGNER, M.R., W. M. BLOCK, B. W. GEILS Y K. F. WENGER. 2000. Restoration Ecology: A New Forest Management Paradigm, or Another Merit Badge for Foresters? *Journal of Forestry* 98:22-27.
- WHITE, AS. 1986. Prescribed Burning for Oak Savanna Restoration in Central Minnesota. USDA Forest Service Research Paper NC-266.
- WHITE, G.C. Y R.A. GARROTT. 1990. Analysis of wildlife radio-tracking data. Academic Press, NY.
- WHITTAKER, R. H. 1977. Evolution of species diversity in land communities. Pp 1-67 en HECHT, M. K.; STEELE, W. C. y WALLACE B. (eds). *Evolutionary biology*. Volume 10. Plenum Press, New York.
- WILLIAMS, B. D. JOHNS, H. WILLIAMS Y W. LEDBETTER. 2002. Converting pine plantations to bottomland hardwood wetlands. *Ecological Restoration* 20:88-95.
- YOUNG, T.P., J.M. CHASE Y R.T. HUDDLESTON. 2001. Community succession and assembly. Comparing, contrasting and combining paradigms in the context of ecological restoration. *Ecological Restoration* 19:5-18.
- ZEDLER, J.B. 1993. Canopy architecture of natural and planted cord-grass marshes: selecting habitat evaluation criteria. *Ecological Applications* 3:123-138.