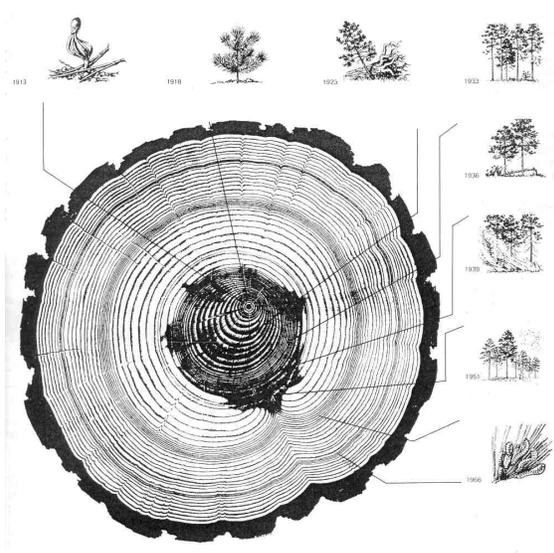


2.2 Cronodendrometría

2.2.1 Introducción

La información contenida en esta sección del capítulo sigue básicamente los tópicos contenidos en el libro: **Tree Rings**, del autor **Fritz Hans Schweingruber**, del cual han sido tomada la mayoría de sus imágenes.

La cronodendrometría o dendrocronología es la técnica de medir el registro del paso del tiempo en la formación del tejido de los árboles. Los campos de aplicación son innumerables, desde conocer las tasas de crecimiento de los árboles y bosques, conocer los cambios climáticos, volcánicos, geomorfológicos, tectónicos, cursos y niveles de aguas, determinación de especie y origen de las maderas y hasta incluso en más de alguna ocasión pruebas de criminología.



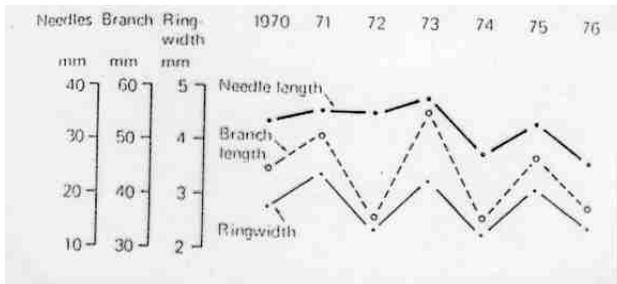
En la imagen lateral se presenta las huellas del crecimiento de un pino de 62 años impresa en el tejido del fuste, a nivel del tocón. Los hitos relevantes fueron:

- 1913: germinación,
- 1918: crecimiento inicial libre, anillos amplios y parejos,
- 1923: caída de un árbol lateral, que lo inclina y genera madera de reacción para su equilibrio mecánico,
- 1933: el árbol recupera su crecimiento vertical y compite con los vecinos por luz y agua,
- 1936: algún vecino es raleado, lo cual genera una mayor tasa de crecimiento por la liberación de competencia,
- 1939: un fuego genera daño lateral, el árbol sobrevive y genera tejido calloso, recubriendo el daño con el pasar de los años,
- 1951: período de sequía y,
- 1966: ataque de un agente desfoliador.

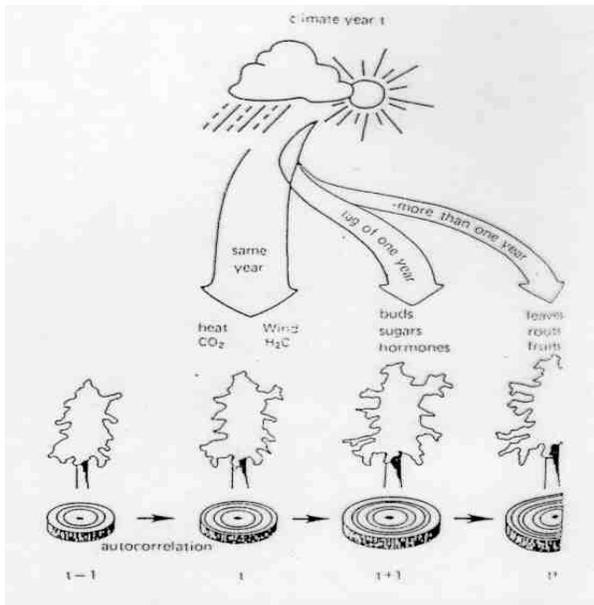
2.2.2 El sitio y el árbol

La esencia de la cronodendrometría reside en la interacción que existe entre el medio ambiente o sitio donde crecen los árboles y éstos. Las especies son el resultado de la evolución o adaptación a los cambios ambientales, por tanto su existencia en forma natural ya permite - a priori - determinar la posible zona geográfica desde donde esta planta proviene.

El árbol crece como resultado del intercambio que existe entre éste y su medio ambiente: la luz, el calor y la humedad del aire y el suelo, en sus permanentes y cíclicos cambios temporales han permitido que las plantas, -y en este caso los árboles- sincronicen sus propios ciclos de crecimiento, a través de los procesos de fotosíntesis, activación de los procesos de asimilación y distribución de azúcares y aumento la masa de tejido de sus órganos de crecimiento.



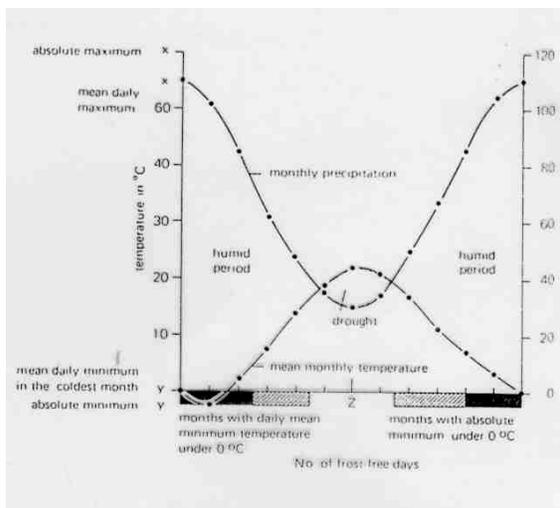
El árbol reacciona, -como se indica en la figura lateral- en forma integral, regulando la distribución de su crecimiento en aquellas zonas del árbol que así lo requieren ya sea por condiciones físicas o químicas. Los complejos procesos de fotosíntesis y respiración tienen por resultado final una transformación en **estructuras** en el árbol.



Estos procesos tienen la forma de reacción en cadena a partir de las condiciones de reservas que hayan resultado del año anterior, existe por tanto una **autocorrelación** entre el crecimiento de un año y el siguiente (ver figura lateral). Aún cuando los cambios ambientales se registran en pocos minutos y la planta reacciona a ello, el resultado final en términos de aumento de tejidos sólo se ve reflejado en uno o dos años de crecimiento. La formación de nuevos tejidos también se manifiestan con correlaciones entre los distintos tamaños que pueden alcanzar en un año de crecimiento, así por ejemplo la longitud de las acículas, longitud de las ramas, radios anuales de crecimiento, espesor de la pared celular presentan correlaciones en sus tasas de crecimiento.

2.2.3 Los distintos sitios de crecimiento del árbol en la tierra

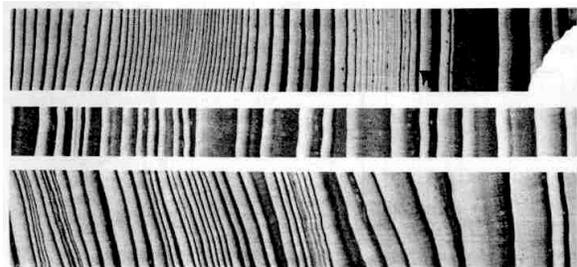
Los movimientos giratorios de la tierra alrededor del sol dan origen a **zonas climáticas** diferentes en cada hemisferio y lugar de la tierra, generando vegetación con distintas tasas de crecimiento y estructura. Estas diferencias estacionales se ven reflejadas en sus **diagramas climáticos**, donde el balance entre precipitación y temperatura media durante el año genera como resultado patrones de crecimiento diferentes (ver figura).



Así es como en los lugares donde existen fuertes **variaciones estacionales** los árboles reaccionan formando tejidos xilemáticos diferenciados en la época estival, en cambio en lugares donde no existe esta marcada diferencia sus tejidos tampoco lo ven reflejado. A una misma latitud, puede existir grandes variación climática ocasionadas por la **influencia marítima**. De igual forma, a igual latitud y longitud, puede existir una **variación altitudinal** que hará que la vegetación presente diferencias marcadas en sus crecimientos, debido a las variaciones de temperatura y precipitación asociadas.

2.2.4 La influencia de los factores ambientales en el sitio

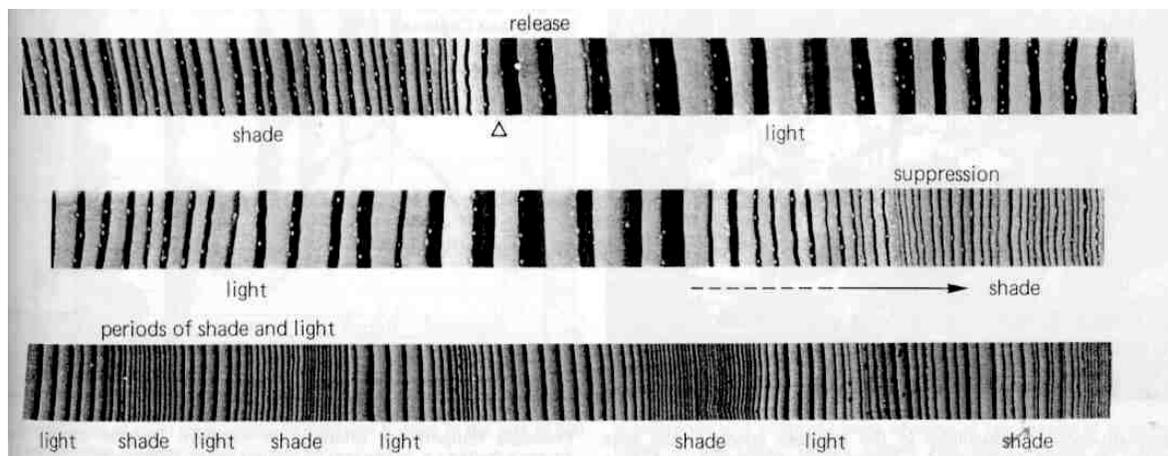
Dependiendo del hemisferio y de la inclinación y exposición solar, el resultado puede ser favorable, demasiado cálido, demasiado frío o indiferenciado en el crecimiento de los árboles. Las exposiciones favorables - cuando no hay limitaciones de precipitación- se encuentran en exposiciones sur, en el hemisferio norte y viceversa en el hemisferio sur, siendo siempre favorables en trópico.



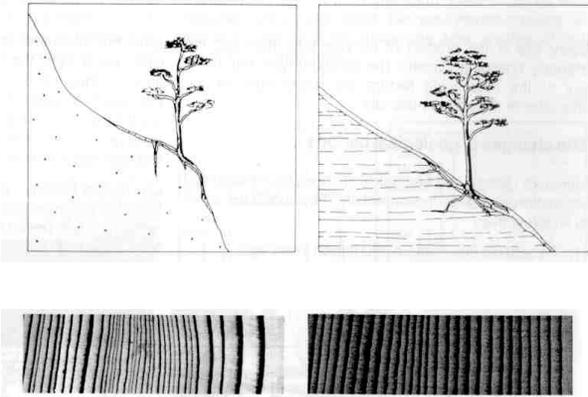
Otro factor de alta influencia en la formación de madera es el movimiento mecánico a que los árboles son sometidos. Los árboles cuyo suelo es removido por movimientos tectónicos generan crecimientos explosivos. Los árboles con influencia permanente del viento también generan madera de reacción. En las imágenes laterales se observan estos efectos. La madera de reacción se observa oscura. Nótese también los cambios en los crecimientos radiales a nivel del cuello radicular.

Otro factor muy determinante en los patrones de crecimientos lo constituye la **luminosidad**. Durante el período vegetativo, la oferta de luz es determinante en la tasa de fotosíntesis y la actividad cambial.

Esto se observa particularmente en los fenómenos de competencia entre luz por árboles vecinos, pudiéndose notar períodos de sombreado, liberación, supresión, crecimiento libre, etc . En la imagen que a continuación se muestra se observan cambios en la luminosidad de los árboles, los cuales generan patrones de crecimiento típicos.



Otro factor de gran influencia en el crecimiento diametral es el **sustrato geológico**.



En la imagen lateral se ilustra comparativamente el efecto del sustrato geológico, en la formación de madera de dos árboles creciendo en distintas condiciones: a la izquierda se observa el caso de un sustrato pobre en suelo, de baja permeabilidad y penetrabilidad, pobre oferta de nutrientes, mal drenaje, falta de capacidad de retención en agua, todo lo cual genera un tejido con patrón de crecimiento **sensible**. En el otro caso el patrón contrario de crecimiento es **plácido**. Estos nombres o calificativos del patrón de crecimiento reflejan la bondad de crecimiento del árbol.

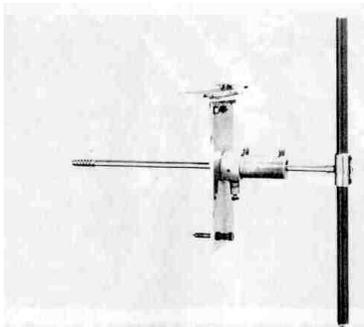
2.2.5 Análisis y obtención de muestras

Lo más importante en un estudio cronodendrométrico es tener muy claro cual es la **hipótesis de trabajo**, o lo que ha motivado su realización. En general puede deberse solo a **un objetivo** como es habitual y puede ser éste la medición del crecimiento pasado de un rodal o bosque en un cierto período de tiempo, o bien determinar su calidad de madera a cosechar, o evaluar el impacto de un período de sequía sobre el mismo, por ejemplo. Otro caso es en el que se esté interesado en hacer coregistros cronológicos entre series climáticas y el crecimiento de los árboles, para evaluar el impacto que éste tiene sobre el crecimiento del árbol. También puede ocurrir que se esté interesado en evaluar el **cambio simultáneo** del clima y de la competencia en el rodal.

Siempre habrá que tener mucha claridad sobre el marco de **inferencia** de las conclusiones derivadas del trabajo, ya que habitualmente se estará interesado en utilizar el **método científico** para su realización. Para ello el lector debe estar familiarizado con el tema.

Dado lo oneroso y destructivo que resulta el método de obtención de muestras, esto es la destrucción parcial o total del árbol para la colección de la muestra, es que se debe extremar sus medidas de selección.

El mejor método de análisis es el **análisis de tallo** estudiado anteriormente, donde se secciona un porción importante del árbol a distintas alturas del mismo para obtener perfiles del desarrollo fustal histórico. Este tipo de análisis es posible cuando se está en la edad de cosecha del rodal o bien cuando su información histórica es relevante, dado que se debe sacrificar el árbol. Cuando ello no es posible, por razones de costo, ambientales u otras, se puede obtener **tarugos de crecimiento del árbol**. Este método consiste en taladrar los fustes a la altura de interés o obtener un cilindro de madera cuyo tamaño depende del taladro y del objetivo del estudio.



Existen diversos tipos y medidas de taladros, los cuales están disponibles en el mercado y deben ser seleccionados de acuerdo a las dimensiones de los árboles a medir y las características física de su madera. En la figura lateral se observa el instrumento, consistente de un barreno hueco en el centro y con hilo afilado en un extremo el que es introducido al árbol mediante el giro de sus brazos ejerciendo presión contra el árbol.

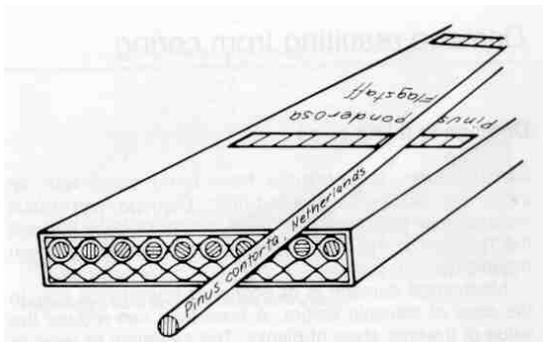


Al interior del barreno, se genera un cilindro producto del corte de la madera y queda cortado e introducido en el centro del taladro. El tarugo de madera que es cortado en el proceso del taladrar el fuste se obtiene haciendo un giro contrario del taladro e introduciendo la vaina metálica que permite extraer el tarugo o cilindro por el otro lado del barreno hueco y se extrae tirando de él hacia fuera. En la imagen lateral se observa al operador taladrando el árbol (nótese que gira los brazos en el sentido de los punteros del reloj) una vez alcanzado el largo deseado, y éste depende del objetivo de la perforación

Los propósitos más comunes de la extracción de los tarugos son: la medición de la edad del árbol y la medición de las tasas de crecimiento radial o diametral del fuste durante algún período de tiempo. Cuando se trata de medición de la edad la extracción del tarugo debe ser realizada lo más abajo posible y debe alcanzar la médula del árbol. Ello no resulta trivial cuando la forma fustal resulta no ser concéntrica y sólo se dispone de la forma exterior del árbol, para ello se puede utilizar como información adicional cuando ello es posible información sobre el ángulo de inserción de las ramas bajas, intentando buscar bisectrices para apuntar hacia la médula. Muchas veces se debe repetir la medición por una segunda vez.

Cuando se intenta medir el crecimiento periódico pasado, éste casi siempre se refiere a nivel del DAP, por lo cual se debe taladrar el árbol a 1,3 m. La perforación allí realizada destruye gran parte de la sección de mayor interés comercial del árbol –la troza de mayor valor comercial-. Por ello resulta conveniente realizar ésta perforación sólo en una submuestra de árboles, a los cuales también se les mide el crecimiento a nivel del DAP y con ello se determina un patrón de corrección para las medidas basales, disminuyendo así las muestras destructivas comercialmente. Este patrón puede ser una simple proporción o una función correctora de las medidas de crecimiento basal.

Los tarugos así obtenidos deben ser inmediatamente marcados y medidos en verde para su posterior medición en seco de manera de permitir reconstruir sus valores originales. Conviene seguir algunas reglas claras: identificar el árbol, su especie, su altura de corte, orientación y exposición en el árbol de manera que nunca se extravíe o confunda con otras muestras. La información a coleccionar depende del objetivo de uso final del estudio.



Los tarugos deben ser cuidadosamente manipulados, dado que son obtenidos de aquella dirección de fibras más débil del árbol, la dirección radial y están expuestas fuertemente a la contracción tangencial y radial, lo cual origina comúnmente su quiebre. Debe recordar el lector que los tarugos normalmente tienen diámetros que no superan los 5 mm. En la imagen lateral se muestra un dispositivo de almacenamiento y transporte - una caja de cartón corrugado - donde son fácilmente manipulados.

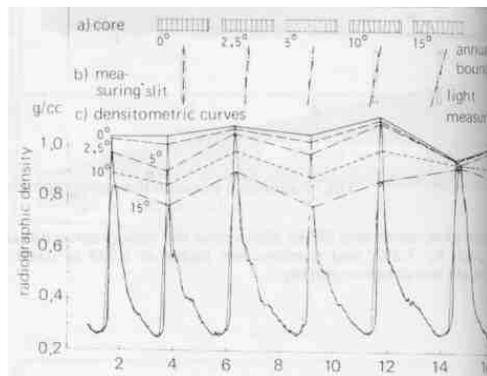
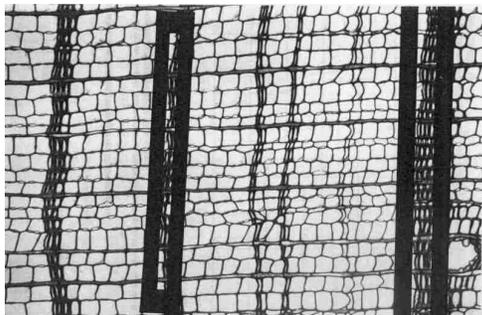
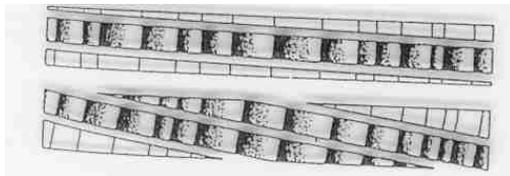
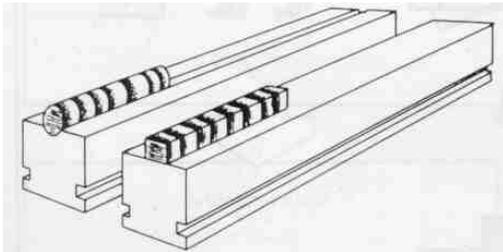
Las lecturas de los tarugos de crecimiento dependen de la especie, edad del ejemplar y un conjunto de factores que pueden dificultar su lectura en forma macroscópica. Cuando no es posible medir

con claridad (diferenciar el tejido de madera temprana de aquella tardía) debe realizarse el trabajo en laboratorio.

La información fundamental que permite definir los cambios de estación –y por ende el anillo de crecimiento anual- es la densidad de la madera. La madera temprana es de baja densidad debido a sus delgadas paredes celulares y gran diámetro en comparación con la madera tardía.

Los métodos de laboratorio para realizar esta observación van desde la simple inspección con lupa, hasta detalladas mediciones de densidad de la madera, ya sea con métodos fotométricos, radiométricos o análisis digital de imágenes.

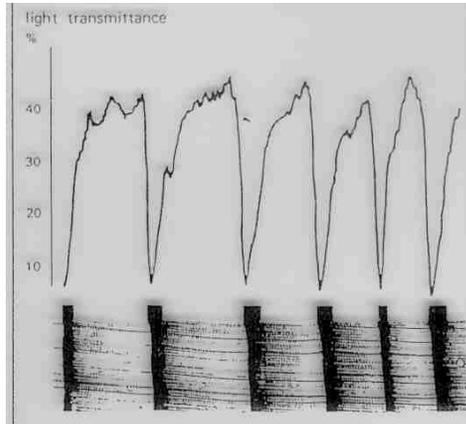
Los aspectos más relevantes a considerar en la preparación de la muestra son:



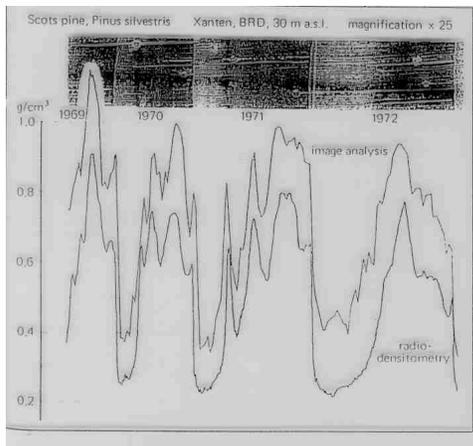
- preparar los cortes pegando los tarugos sobre soportes de madera cóncavos, con radio igual al radio del tarugo, de modo que queden firmemente adheridos y puedan ser trabajados ya sea con sierra, hoja de corte, lijadora y pulidora si ello es necesario,
- realizar cortes perfectamente radiales, de manera que las lecturas radiométricas, fotométricas u otros métodos de medición no sean alteradas por la mezcla de lecturas de 2 anillos consecutivos en una misma lectura. Para ello se debe realizar los cortes como se indica en la figura lateral,
- realizar las mediciones con el área de lectura en el sentido del crecimiento radial, como se ilustra en la figura lateral. La lectura por cualquier genera una información agregada de toda el área de observación y lectura, por ello es que se realiza la preparación indicada arriba.
- evitar la desviación en el ángulo de medición que se muestra en 3) que puede generar errores en la lectura de la densidad de la madera tal como se indica en la figura lateral: ángulos inclinados generan lecturas con mezclas de información de distintos años de formación. Cuanto más inclinado es el ángulo de medición menor será la densidad de lectura, lo cual puede suavizar demasiado la gráfica de densidades. Idealmente el ángulo de lectura debe realizarse sin desvíos, respecto de la verdadera orientación del tejido.

La preparación de las muestras a partir de los tarugos va desde la preparación caras lisas, lijadas y pulidas, hasta cortes histológicos. Existe un sofisticado procedimiento para extraer los depósitos que se alojan en el lumen de las células, se usa tinturas especiales para distinguir el color en el caso de observación macroscópica y solventes que permiten la remoción de extraíbles en el caso de métodos densitométricos. Esta materia está claramente desarrollada en textos especiales. Cada especie tiene distintas características que habitualmente se reportan en la literatura.

En general cualquier tipo de medición se realiza mediante una secuencia de lecturas de densidad en sentido radial utilizando la un promedio móvil de la sección de lectura, ya sea en forma objetiva o subjetiva.



En la imagen lateral se ilustra la gráfica de lecturas de transmisión lumínica utilizada en técnicas fotométricas, en *Picea rubens*, donde se observa claramente que el porcentaje de luz que es retenido por los tejidos de alta densidad (madera tardía) es bastante inferior al tejido de primavera, estando su máximo en el período inicial del crecimiento anual. El ritmo de crecimiento anual es típico partiendo de un máximo que declina suavemente - con algunas oscilaciones breves - y luego una constante declinación en la medida que comienza la formación del tejido de verano o madera tardía. La variación estacional entre tejidos alcanza casi a un 40% de transmisión lumínica.



En la segunda imagen se muestra comparativamente los resultados usando dos técnicas densitométricas en *Pinus silvestris* donde se compara para la misma muestra los resultados de densidad con análisis de imágenes - donde se infiere la densidad como el producto de la densidad de la celulosa por el porcentaje de área ocupada por los tejidos celulares - con un método densitométrico, obtenido por rayos X.

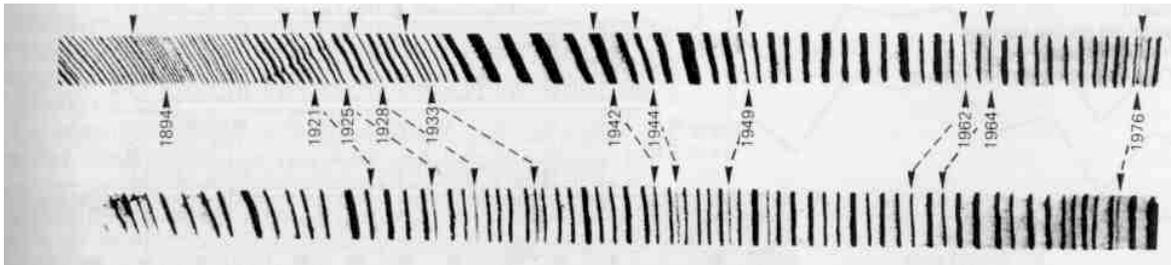
La comparación naturalmente arroja valores distintos, pero las gráficas son extremadamente similares, pudiéndose concluir lo mismo.

2.2.6 Datación cronológica de muestras de crecimiento

Uno de los casos de aplicación más interesantes corresponde al análisis de crecimientos asociados a árboles que han crecido en un mismo período de tiempo. Cada árbol crece en función de sus características locales específicas: su potencial genético, su microsítio y su competencia. Sin embargo dos o más árboles que han crecido en un mismo período de tiempo presentarán estas diferencias locales pero seguirán un patrón climático común, si es que están creciendo bajo un mismo patrón climático.

Para realizar esta datación seriada de crecimientos se debe acudir a los llamados **años punteros**, consistentes en patrones comunes de origen climático que afectan a los árboles que están creciendo simultáneamente en el tiempo. Típicamente se puede encontrar los patrones comunes, si se tiene la certeza que los anillos provienen del mismo período de tiempo. Hay que fijar años y características especiales: años secos, años lluviosos, movimientos sísmicos y todos aquellos que ocasionan tejidos especiales y comunes a todos los árboles.

En la figura que a continuación se muestra, se observa la secuencia de dos muestras de anillos de árboles colectados en tiempos comunes de crecimiento usando años punteros. En 1976 se observa un anillo muy débilmente formado y otro normal marcado entre los años 1962 y 1964 que corresponde al anillo formado el año 1963. Esta muestra se obtuvo en Suiza en Valais.



Este tipo de estudios permite - con adecuados registros climáticos asociados - establecer patrones de formación de madera, estimar tasas de crecimiento y calidad de las maderas para determinadas zonas. Si duda las aplicaciones de orden prácticas y económicas son evidentes para la Ciencia Forestal.