

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

DEPARTAMENTO SILVICULTURA



INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS EDAFICAS SOBRE LA
CALIDAD DE SITIO PARA *Pinus radiata* D. Don EN SUELOS
GRANITICOS DE LA VERTIENTE ORIENTAL EN LA CORDILLERA
DE LA COSTA DE LA VIII REGION

POR

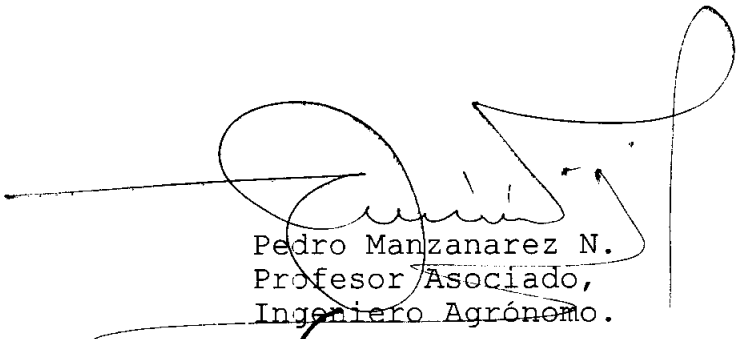
JUAN MAURICIO REYES ROMERO

**MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO
FORESTAL.**

**CONCEPCION – CHILE
1997**

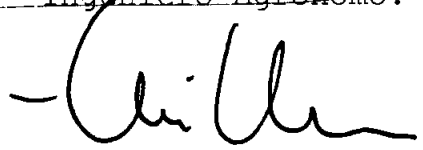
INFLUENCIA DE LAS CARACTERISTICAS EDAFICAS SOBRE LA CALIDAD
DE SITIO PARA Pinus radiata D. Don. EN SUELOS GRANITICOS DE
LA VERTIENTE ORIENTAL EN LA CORDILLERA DE LA COSTA DE LA
VIII REGION.

Profesor Asesor




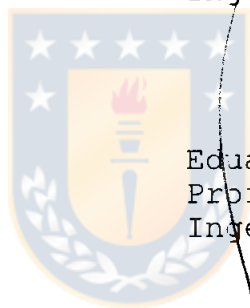
Pedro Manzanarez N.
Profesor Asociado,
Ingeniero Agrónomo.

Profesor Asesor



Jaime Millán H.
Profesor Titular,
Ingeniero Forestal.

Director Departamento
Silvicultura

Eduardo Peña F.
Profesor Asistente,
Ingeniero Forestal.

Decano Facultad de Ciencias
Forestales

Jaime García S.
Profesor Asociado,
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

Sr. Pedro Manzanares N. : 92 Puntos

Sr. Jaime Millán H. : 91 Puntos



A MIS PADRES JUAN Y GRACIELA

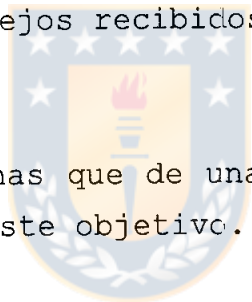
A MI ESPOSA, CARMEN GLORIA Y A CAMILA, MI FUTURA HIJA

AGRADECIMIENTOS

El autor desea manifestar un gran reconocimiento a todos los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción, que hicieron posible su formación profesional, que culmina con esta memoria de título.

De forma muy especial agradece a los profesores señores Pedro Manzanarez, Jaime millán H.y Pedro Carrasco P., por el incalculable apoyo y consejos recibidos de ellos.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma hicieron posible la obtención de éste objetivo.



INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA
I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Hábitat natural de la especie.	4
2.1.1 Distribución geográfica.	4
2.1.2 Clima.	4
2.1.3 Suelos y topografía.	5
2.2 El pino radiata en Chile.	6
2.3 Medidas de la calidad de sitio.	7
2.3.1 Plantas indicadoras.	7
2.3.2 Índice de sitio.	8
2.3.3 Variables medioambientales.	8
2.4 Factores de sitio que influyen en la productividad.	10
2.4.1 Factores geográficos.	10
2.4.2 Factores topográficos.	10
2.4.3 Factores climáticos.	11
2.4.4 Propiedades y características físicas del suelo.	13
2.4.4.1 Textura.	13
2.4.4.2 Estructura.	15
2.4.4.3 Densidad aparente.	17
2.4.4.4 Porosidad del suelo.	18
2.4.4.5 Aireación del suelo.	19
2.4.4.6 Profundidad efectiva del suelo.	21
2.4.4.7 Capacidad de retención	

	de agua aprovechable.	21
2.4.5	Propiedades químicas del suelo.	22
2.4.5.1	La reacción del suelo.	23
2.4.5.2	Materia orgánica.	23
2.4.5.3	Disponibilidad de elementos nutritivos.	24
III	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1	Área de estudio.	27
3.1.1	Ubicación.	27
3.1.2	Descripción del ambiente físico.	29
3.2	Metodología de terreno.	29
3.3	Unidad muestral.	30
3.3.1	Antecedentes de suelo.	30
3.3.2	Antecedentes dasométricos.	31
3.4	Procesamiento de datos y análisis estadístico.	32
3.4.1	Bases de datos.	32
3.4.2	Ajuste de las variables.	32
3.4.3	Relación funcional y comportamiento de las variables.	33
3.4.4	Prueba de hipótesis.	34
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1	Productividad de los suelos graníticos.	35
4.2	Determinaciones físicas y fisiográficas.	36
4.2.1	La textura del suelo.	37
4.2.2	El agua en el suelo.	39
4.2.3	Porosidad del suelo.	41
4.2.4	Densidad aparente.	43
4.2.5	Altitud.	44

4.3	Propiedades químicas.	45
4.3.1	Reacción del suelo (pH).	45
4.3.2	Materia orgánica.	46
4.3.3	Nitrógeno.	47
4.3.4	Fósforo.	48
4.3.5	Potasio.	49
4.3.6	Calcio.	49
4.4	El índice de sitio para el Grupo de Suelos Graníticos y su relación con las Variables de Suelo .	50
4.4.1	Textura del suelo.	50
4.4.1.1	Arena.	50
4.4.1.2	Limo.	51
4.4.1.3	Arcilla.	51
4.4.1.4	Esqueleto.	51
4.4.2	Contenido de Humedad del suelo.	53
4.4.2.1	Capacidad de campo.	53
4.4.2.2	Punto de marchitez permanente.	53
4.4.2.3	Agua disponible.	53
4.4.3	La porosidad del suelo.	54
4.4.3.1	Porosidad capilar.	54
4.4.3.2	Porosidad no capilar.	54
4.4.3.3	Porosidad total.	55
4.4.4	Densidad aparente.	56
4.4.5	Altitud.	56
4.4.6	Propiedades químicas.	57
4.4.6.1	pH.	57
4.4.6.2	Materia orgánica.	57
4.4.6.3	Nitrógeno.	58
4.4.6.4	Fósforo.	58
4.4.6.5	Potasio.	59
4.4.6.6	Calcio.	59

4.5	Estimación del índice de sitio a partir de combinaciones de variables de suelo.	60
4.5.1	Grupo de suelos graníticos.	61
4.5.2	Serie de suelos San Esteban.	64
4.5.3	Serie de suelos Cauquenes.	66
V	CONCLUSIONES	70
VI	RESUMEN	73
	SUMMARY	75
VII	BIBLIOGRAFÍA	77
VIII	APÉNDICES	82



INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PAGINA
1	Área de estudio.	28
2	Correlación entre el contenido de Arena y el Índice de Sitio.	52
3	Correlación entre el contenido de Limo y el Índice de Sitio.	52
4	Correlación entre el contenido de Arcilla y el Índice de Sitio.	52
5	Correlación entre el contenido de Esqueleto y el Índice de Sitio.	52
6	Correlación entre la Capacidad de Campo y el Índice de Sitio.	53
7	Correlación entre el Punto de Marchitez Permanente y el Índice de Sitio.	54
8	Correlación entre el Contenido de Agua Disponible y el Índice de Sitio.	54
9	Correlación entre la Porosidad Capilar y el Índice de Sitio.	55
10	Correlación entre la Porosidad no Capilar y el Índice de Sitio.	55
11	Correlación entre la Porosidad Total y el Índice de Sitio.	56
12	Correlación entre la Densidad Aparente y el Índice de Sitio.	56
13	Correlación entre la Altitud y el Índice de Sitio.	57
14	Correlación entre el pH y el Índice de Sitio.	57
15	Correlación entre el contenido de Materia Orgánica y el Índice de Sitio.	58

16	Correlación entre el contenido de Nitrógeno y el Índice de Sitio.	58
17	Correlación entre el contenido de Fósforo y el Índice de Sitio.	59
18	Correlación entre el contenido de Potasio y el Índice de Sitio.	59
19	Correlación entre el contenido de Calcio y el Índice de Sitio.	60



INDICE DE TABLAS

TABLA N°	PAGINA
1	Unidades muestrales por serie de suelo. 30
2	Métodos usados para determinar las variables de suelo. 31
3	Valores de Índice de sitio para el Grupo y Series de suelo. 35
4	Contenidos de Arena (%), Limo (%), Arcilla (%) y Esqueleto (%), por series de suelo y por estratos. 37
5	Valores de Capacidad de campo (%), Punto de Marchitez Permanente(%)y Agua Disponible(m ³ /ha, por serie de suelo y por estratos. 40
6	Valores de Porosidad Total(%), Porosidad Capilar (%)y No Capilar (%), por serie de suelo y por estratos. 42
7	Valores de Densidad Aparente (%), por serie de suelo y por estratos. 44
8	Altitud (m.s.n.m.) por serie de suelo. 45
9	Valores de pH, por serie de suelo y por estratos. 45
10	Contenido de Materia Orgánica (%), por serie de suelo y por estratos. 46
11	Contenido de Nitrógeno (%), por serie de suelo y por estratos. 48
12	Contenido de Fósforo (ppm), por serie de suelo y por estratos. 48
13	Contenido de Potasio(m. eq./100 gr. de suelo), por serie de suelo y por estratos. 49

14	Contenido de Calcio (m.eq/100gr.de suelo), por serie de suelo y por estratos.	50
15	Variables de suelo usadas en las ecuaciones de regresión.	69



I INTRODUCCION

La especie Pino radiata D. (Don) ha sido plantada en una extensa zona, que va desde Valparaíso por el norte hasta Valdivia por el sur (Francke, 1988; Vera, 1988). A lo largo de esta zona, el rendimiento de las plantaciones dista de ser homogéneo; por el contrario, es muy distinto de un lugar a otro como consecuencia de la gran variedad de condiciones de sitio presente en ella. Es decir, las fluctuaciones cuantitativas del crecimiento que se observa en las plantaciones, están asociadas a variaciones en el comportamiento de factores que definen la calidad de sitio para la especie. Por eso cuando se planifica establecer una plantación, es necesario conocer los requerimientos de la especie respecto de la calidad de sitios susceptibles de ser utilizados, especialmente cuando ésta es con fines de producción.

También en la planificación de las actividades de manejo forestal resulta de gran importancia conocer la respuesta del crecimiento a las variaciones de los distintos factores del sitio. Esta importancia se manifiesta especialmente en las decisiones con las que una empresa forestal busca aumentar la productividad de sus bosques, elegir los mejores sitios para forestar, seleccionar las especies más adecuadas a una localidad determinada o adquirir terrenos forestales.

Se considera que para un manejo forestal consistente y realista es indispensable la evaluación de la productividad de sitio, lo que normalmente significa realizar medidas sobre el sitio y/o variables del rodal usando los valores obtenidos como argumentos de funciones y gráficos que expresan la

productividad de sitio. Cuando ésta se expresa a través de variables del rodal, se asume una condición más o menos ideal. Esto significa, dominado por una especie, sin daño, sin perturbaciones en su desarrollo, etc.. De manera que, cuando no se cumplen estas condiciones o cuando se trata de un terreno desprovisto de vegetación, es necesario utilizar algún método indirecto de estimación de la calidad de un sitio y determinar así su productividad actual o potencial.

Así, el propósito de estudiar las relaciones entre variables del sitio y productividad puede ser doble. Por un lado, establecer una relación que pueda ser empleada para la estimación de la productividad del sitio, o para promover el conocimiento de los factores que controlan la productividad para aplicar un manejo forestal apropiado.

Existen diversos trabajos en el país como en el extranjero, respecto de las variadas condiciones de sitio que favorecen o limitan el buen desarrollo de la especie. Es así como en Chile se conocen efectos negativos sobre el crecimiento en condiciones de temperatura y pluviosidad extremas, predominantes en sectores de mayor latitud y altitud. Se conoce también los efectos positivos que derivan del uso de suelos profundos, de texturas medias, bien drenados y pH moderado.

Sin embargo, respecto de los suelos Graníticos de la VIII Región no existen estudios en detalle sobre la relación entre los factores del sitio y la productividad del Pino radiata. El presente trabajo pretende identificar las variables edáficas que más afectan la calidad del sitio para el *Pinus radiata* (D. Don) y establecer con ellas un modelo matemático para estimar el índice de sitio para la especie, que nos

permita planificar las medidas de manejo de suelos, tendientes a lograr mejores resultados.

Según esto, los objetivos específicos del presente trabajo son :

- Caracterizar física y químicamente el grupo de suelos graníticos de la vertiente oriental de la cordillera de la Costa de la VIII Región, incluyendo las series San Esteban (ET) y Cauquenes (CQ), que están cubiertas con plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don).
- Conocer al grado de correlación de las variables de los suelos graníticos, con la productividad del sitio para el *Pinus radiata* (D. Don), expresada con el índice de sitio. Las variables estudiadas incluyen propiedades físicas y químicas, y también características de suelo como la altitud.
- Generar modelos matemáticos, que permitan explicar o predecir el comportamiento del índice de sitio en función de variables estudiadas, tanto para el grupo de suelos, como para las dos series que lo componen.

II REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Hábitat natural de la especie.

2.1.1 Distribución geográfica. El Pino radiata es originario de Monterrey, unos 160 kilómetros al sur de San Francisco en el estado de California (Scott, 1961). Su distribución natural es muy reducida y comprende tres localidades a lo largo de un estrecho cinturón de 210 kilómetros de longitud, que se extiende entre laderas y picos, 10 a 11 kilómetros tierra adentro desde las costas, entre Pessadora y la bahía de San Simeón, en Estados Unidos (Gandulo et al., 1974). La isla mexicana de Guadalupe también se encuentra entre los lugares de origen del pino radiata.

Conforme a la bibliografía consultada, se puede afirmar que el Pinus radiata (D. Don), es originario del hemisferio norte, de regiones templadas, de latitudes medias (33.5° - $37,0^{\circ}$ de latitud norte), con relieve complejo (colinas y laderas) sin llegar a constituir sierras ni montañas, con altitudes que alcanzan los 300 metros (Gandulo et al. 1974).

2.1.2 Clima. El pino crece en climas húmedos, con una precipitación anual moderada que varía entre los 400 y 1.000 mm. El mínimo anual de precipitación oscila entre los 145 mm. en Cambria, y 315 mm. en Swanton. La máxima anual de precipitación está en un rango entre 735 mm. en Monterrey y 1.280 mm. en Swanton. Cerca del 70 al 75% de la precipitación cae en lluvias moderadas, entre los meses de diciembre a mayo. Aunque el clima es húmedo a través del año, las humedades son mas altas en verano e invierno que en

primavera y otoño. Por ejemplo, la media mínima de humedad relativa para la localidad de Monterrey en junio es entre 60 y 70%. Esta alta humedad relativa es mantenida en el verano por la neblina. La temperatura media diaria fluctúa entre 9 y 11 °C en enero, y entre 15,5 y 18,0 °C en julio. Los inviernos son relativamente suaves, aunque ocurren heladas ocasionales (Gandulo et al., 1974; Arteaga, 1983; Forest Service USDA, 1965).

2.1.3 Suelos y topografía. El pino radiata, en su hábitat natural, crece en condiciones de suelo y topografía, que el Forest Service USDA (1965) las resume señalando que la especie crece sobre una amplia variedad de suelos, desarrollados a partir de distintos materiales generadores, principalmente de texturas gruesas (areno - arcillosos) , ácidas a muy ácidas y permeables a moderadamente permeables. En los sitios de mayor calidad los suelos son bien drenados, profundos y de texturas medias. Es difícil encontrar árboles creciendo sobre suelos de menos de 25 cm de profundidad, generalmente no crecen más de 20 m de altura sobre suelos delgados, mientras que en suelos de 90 a 120 cm de profundidad puede alcanzar los 30 ó 40 m.

En sus áreas nativas, el pino está establecido sobre pendientes suaves o moderadas, desde el nivel del mar hasta los 300 m.s.n.m. y desde la costa hasta unos 10 kilómetros al interior. Donde las lluvias son más abundantes (Swanton), esta especie crece en todas las exposiciones. Pero donde el clima y los suelos son más secos (Monterrey y Cambria), la exposición sur está asociada a sitios poco favorables. En cambio, las exposiciones norte, en especial aquellas un tanto abrigadas, están asociadas a condiciones de sitio más

favorables; los árboles crecen mejor y el límite altitudinal del pino se extiende hasta los 300 metros de altura.

2.2 El Pino radiata en Chile.

El pino en Chile crece desde Valparaíso en la V Región (30 ° lat. sur) hasta Valdivia en la X Región (40 ° lat. sur) (Francke, 1988; Schlatter et al. , 1982) , lo que representa una extensión de unos 950 kilómetros. Dentro de este extenso territorio, se ubica principalmente en la faja litoral y en vastas zonas del valle central en Maule, Bio-Bío y Cautín .

En cuanto a suelos, el crecimiento óptimo se presenta principalmente en aquellos de textura franco arenosa ó franco limosa, de una profundidad de 1,0 a 1,3 m o más. Se ve significativamente restringido en aquellos suelos con menos de 60 a 70 cm de profundidad. El pino también tendrá mal crecimiento en suelos muy pedregosos, arenas de cuarzo o muy arcillosos. Estos suelos no son apropiados para la especie ya que presentan restricciones asociadas al drenaje, aireación y enraizamiento (Schlatter, 1977).

Carrasco (1984) señala que niveles freáticos menores a los 50 cm de profundidad en el periodo otoño - invierno, representan un factor limitante severo para el arraigamiento de la especie, lo que se traduce en un alto porcentaje de árboles caídos por viento. Este fenómeno es de mucha importancia en los suelos derivados del cono aluvial del Río Laja en la VIII región, donde a menudo se presenta este problema.

2.3 Medidas de la calidad de sitio.

El sitio puede definirse como la combinación de factores climáticos, edáficos y biológicos, en un área determinada de la superficie terrestre, que presenta condiciones homogéneas para el desarrollo de las plantas. La calidad de un sitio es el resultado medio en términos de producción de bienes y / o servicios, que se genera a partir de la combinación favorable de factores climáticos, edáficos y biológicos que lo componen. El nivel de calidad de sitio y de producción no puede ser superior que el determinado por el factor más limitante de ellos para el crecimiento de las plantas. Dado que calidad de sitio, producción y rentabilidad de la inversión forestal están muy estrechamente asociadas, la cuantificación de la calidad del sitio, ha llegado a ser un ejercicio indispensable para la toma de decisiones en la empresa forestal.

Los métodos más usados para determinar la calidad de sitio son el método de las plantas indicadoras, el del índice de sitio y el de los factores medioambientales.

2.3.1 Plantas indicadoras. Desde hace mucho tiempo, es sabido que ciertas plantas se presentan dentro de ambientes locales razonablemente definidos; tal que, a modo de corolario, pueden sacarse conclusiones acerca del ambiente a partir de la cubierta vegetal de una zona. Este método, que depende de la existencia de plantas indicadoras no ha resultado tan satisfactorio en otras partes del mundo como ha sido en Finlandia (Daniel et al., 1982). Las plantas indicadoras resultaron útiles en los países nórdicos, incluso Canadá y el norte de Estados Unidos; sin embargo, más al sur la mayor cantidad de especies y mayor amplitud ecológica

entre otras, hacen improbable el hecho de establecer una correlación entre la calidad del sitio y unas cuantas especies indicadoras.

2.3.2 Índice de sitio. El índice de sitio se define como la altura dominante de un rodal a una edad clave determinada. Este es el método mas ampliamente usado en la actualidad, debido a que correlaciona razonablemente con el crecimiento en volumen del rodal, siendo además una variable de fácil medición y sencilla de interpretar. Además, el índice del sitio, que como concepto integra los efectos de factores como el clima y el suelo, además, inserto dentro de otros métodos para determinar la calidad del sitio, como por ejemplo el de las variables medioambientales.

2.3.3 VARIABLES MEDIOAMBIENTALES. Numerosos estudios realizados sobre este tema en el extranjero y en nuestro país, en diversas especies, han demostrado que es posible correlacionar en forma consistente numerosos factores medioambientales asociados al suelo con el crecimiento en altura de los rodales. Entre esos estudios pueden citarse los siguientes:

Steinbrenner (1968) en un trabajo realizado en pino oregón, en el Estado de Washington, encontró que la profundidad total del suelo, la profundidad efectiva y la textura ejercen una acción positiva sobre el crecimiento. Mientras que el porcentaje de grava y de poros macroscópicos, influenciaban negativamente el crecimiento.

García (1982), en un estudio de índice de sitio para pino en la cordillera de la costa de la VII Región de Chile, concluye que es posible predecir con gran exactitud el crecimiento de las plantaciones, basándose en variables edáficas. Además,

sostiene que las características físicas del suelo y algunos factores fisiográficos presentan una buena correlación con la calidad de sitio, pero al parecer no es posible establecer un grupo fijo de variables, ya que de acuerdo a condiciones locales, algunas de ellas adquieren una mayor importancia.

Schlatter et al. (1982) concluyen que los factores que mejor explican la variación del índice de sitio son variables relacionadas con el régimen hídrico del suelo, además de la textura misma. También se considera que las características del horizonte superficial representan en mejor forma las condiciones del suelo para el crecimiento del pino radiata, por su influencia en los regímenes de agua y de elementos nutritivos.

La profundidad es también considerada una característica de gran importancia respecto de la calidad de sitio, principalmente por su influencia en el régimen hídrico del suelo, a tal punto que se le puede considerar como índice de productividad o calidad de sitio (Doroso, 1981).

Coile y Schumacher (1953) citados por Daniel et al. (1982), investigando con pino taeda y pino de hojas cortas en las regiones de Carolina, Georgia y Alabama, encontraron que la profundidad del horizonte A y el valor de absorción de agua desde el horizonte B presentan una notable correlación con el índice de sitio.

Francke (1988) concluye que un pH básico y texturas arcillosas en el horizonte inferior del perfil del suelo, influyen negativamente en el índice de sitio. Mientras que texturas medias con rangos de pH cercanos a 5 influiría favorablemente sobre el índice de sitio.

2.4 Factores de sitio que influyen en la productividad.

2.4.1 Factores geográficos. La latitud, la longitud la altitud y la topografía se reconocen como factores importantes en la explicación del índice de sitio, por su clara influencia sobre elementos del clima, como son la temperatura, la radiación y la precipitación; los que a su vez contribuyen decisivamente a determinar las asociaciones vegetales y de suelos, sus características y distribución en el paisaje (Donoso, 1981; Steinbrenner, 1968; Brown et al., 1978).

En Chile, cuyo territorio presenta una amplia diversidad en cuanto a tipos de clima (dada su extensión que sobrepasa los 4.000 kilómetros de norte a sur) y diferencias de cotas de altitud de miles de metros, en sentido transversal (debido a la ocurrencia de las cordilleras), los factores ambientales interactúan de manera compleja, determinando no solo los límites de zona de cultivo del pino radiata, sino además dan origen a una abundante y variada lista de ecosistemas forestales o sitios, cuya calidad y productividad varía también muy ampliamente. Esta situación reviste tal importancia para la actividad silvícola que Schlatter y Gerding (1994) han propuesto una zonificación del territorio apto para pinos y eucaliptos, sobre la base de factores climáticos y edáficos expresados a través del índice de sitio.

2.4.2 Factores topográficos. Respecto de la topografía como factor ambiental, Carmean (1967), citado por Vera (1988) indica que aunque los parámetros topográficos no influyen directamente en el crecimiento, sí involucran factores

causales que inciden en él. Es el caso de la exposición y la pendiente que afectan el crecimiento del bosque al alterar positiva o negativamente la humedad, la temperatura, la radiación y el desarrollo del suelo mismo. Donoso (1981) indica que los factores topográficos tienen una alta influencia en las propiedades que determinan el régimen hídrico del suelo.

Steinbrenner (1968) sostiene que pendientes de hasta 30% no tienen una influencia significativa en el índice de sitio, pero cuando ésta sobrepasa el 30%, se observa una clara disminución en el índice de sitio. Bowersox et al. (1972) en un estudio realizado en Pennsylvania, encontraron que la pendiente y la exposición afectan significativamente el sitio, de manera tal que las incluyeron como factores en la ecuación final que relaciona factores topográficos e índice de sitio. Estos resultados parecen confirmar las opiniones de Francke et al. (1988) quienes sostienen que la pendiente sería una de las variables más relacionadas con la magnitud que puede alcanzar el índice de sitio.

2.4.3 Factores climáticos. El pino radiata proviene de un clima mediterráneo, que se caracteriza por precipitaciones entre 400 y 1.000 mm anuales, concentradas en invierno (70 a 75%). La humedad relativa se mantiene alta durante todo el año, especialmente en invierno y verano, por efecto de la neblina costera (Forest Service USDA, 1965).

La temperatura media diaria varía entre 9 y 11°C en enero y entre 15,5 y 18,0°C en julio. Los inviernos son relativamente suaves, con heladas ocasionales (Forest Service USDA, 1965).

Sin embargo el pino como especie exótica se adapta a una gran variedad de climas (Scott, 1961). En Chile el pino encuentra su óptimo climático en la zona de Concepción, aproximadamente en los 37° de latitud sur. Aquí se presenta en un clima mediterráneo típico, con veranos relativamente secos, pero con influencia de neblina costera. La pluviosidad varía entre 1.000 y 1.300 mm anuales, concentrados en un 70 a 75% en invierno, libres de heladas, nieve o granizos.

A pesar de que se acepta que el crecimiento de los árboles está fuertemente asociado con los factores climáticos, éstos han sido escasamente utilizados como indicadores de la calidad de sitio, salvo en algunos trabajos aislados donde se considera la precipitación media anual (García, 1982; Steinbrenner, 1968). Donoso (1981) señala un efecto positivo de la precipitación sobre el índice de sitio dentro de ciertos márgenes, pues un exceso de ésta produciría una baja en la calidad de sitio como consecuencia de la lixiviación de nutrientes del suelo, por ejemplo. Sin embargo, Steinbrenner (1968) en un estudio de los efectos sobre el índice de sitio de la precipitación y la altitud en forma conjunta, concluye que bajo los 300 m.s.n.m., a medida que la precipitación es mayor, se produce un aumento del índice de sitio. Mientras que sobre 300 m.s.n.m. este efecto se invertirá y se torna más severo a medida que aumenta la altitud.

La temperatura es un factor climático que tiene influencia sobre el crecimiento de las especies. En general, la calidad del sitio mejora con un aumento de la temperatura, pero hasta un nivel en que el incremento de la calidad del sitio es muy escaso, según Donoso (1981). Por otro lado, García (1982)

quien usó como variable independiente a la temperatura (media de enero, temperatura máxima media de enero y la temperatura media de julio) para explicar el índice de sitio, reporta que ninguna de estas variables figuró entre las mejores predictoras de la altura media dominante de los rodales.

2.4.4 Propiedades y características físicas del suelo. Las propiedades físicas del suelo son muy importantes para determinar el crecimiento de la vegetación, puesto que contribuyen a la fertilidad del suelo. Es así como se ha encontrado que existe una fuerte dependencia entre el índice de sitio del pino radiata y factores asociados a las características físicas del suelo, mejor que la existente con otros, como el clima y la topografía (Schlatter et al., 1982; García, 1982; Mader, 1976).

Lo anterior es corroborado por Brady (1984), quien indica que de los seis factores que afectan el crecimiento de las plantas, sólo la luz no es aportada por el suelo. El suelo suministra el agua, soporte mecánico para las raíces, es un buen fermentador para activar las reacciones químicas, y además aporta nutrientes que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Todos estos factores están condicionados en sus formas óptimas para las plantas, a las siguientes características de los suelos:

2.4.4.1 Textura. La proporción relativa de arena, limo y arcilla en un suelo se define como la clase de textura o textura simplemente (Daniel et al., 1982; Pritchett, 1979; Brady, 1984).

Se reconoce que muchas características importantes del suelo están asociadas a la textura. Así, textura fina se asocia

con buena capacidad de retención de agua y reserva de nutrientes, lo que está asociado a la capacidad de suministro de agua aprovechable y nutrientes. Sin embargo, un suelo de textura fina también puede presentar desventajas; como una baja permeabilidad tanto al agua como al aire, y en algunos casos extremos puede presentar problemas al crecimiento radicular por la falta de oxígeno y/o resistencia mecánica al enraizamiento (Donoso, 1981; Daniel et al., 1982; Schlatter, 1977; Peralta, 1976).

Este sería el caso de los suelos arcillosos erosionados de la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, en la VIII región, donde existen serios problemas para el establecimiento del pino radiata, debido a que se trata de suelos decapitados (horizonte B en la superficie), con un alto contenido de arcilla y muy compactados. Por este motivo, en muchos de ellos, para obtener el porcentaje razonable de sobrevivencia, es necesario realizar labores de preparación de suelos, con el objeto de mejorar la aireación, la permeabilidad y la profundidad efectiva del suelo (Carrasco y Millán, 1990).

Por el contrario, suelos de textura gruesa, donde la fracción de arena representa el mayor porcentaje del peso, presentan buena permeabilidad tanto al agua como al aire, pero su capacidad de retención de agua y elementos nutritivos es baja. En ellas el agua percola rápidamente y los nutrientes lixivian, lo cual torna muy baja su fertilidad natural, y no son aptos por lo general, para cultivos anuales intensivos (Peralta, 1976; Daniel et al., 1982). Sin embargo, en la actualidad en nuestro país existen grandes plantaciones de pino radiata en los arenales, formados por el cono aluvial del Río Laja (Schlatter, 1977). En suelos arenosos se

observa un mayor índice de sitio a medida que aumenta el contenido de arena fina, por su efecto en la humedad que otorga al suelo una mayor capacidad de retención de agua aprovechable (Jackson y Gifford, 1974).

En general, numerosas investigaciones sobre productividad de los bosques en base a variables edáficas, concluyen que la textura juega un rol importante en la determinación de la calidad del sitio. Muchos autores señalan que la textura óptima para lograr una mejor calidad productiva son las texturas franco o limosas. Entre otros podemos mencionar a Jokela et al., (1988); Schlatter et al., (1982); Mader, (1976); Francke, (1988) y Francke et al., (1988).

Aunque el pino radiata es tolerante a un amplio rango de texturas, sin embargo su crecimiento óptimo se ha observado en suelos con textura franco arenoso a franco limoso (Jackson y Gifford, 1974; Schlatter, 1977). En casos extremos el pino presenta mal desarrollo, sobre todo cuando los suelos son muy pedregosos, con mal drenados y poco profundos (debido a la presencia de una capa endurecida cerca de la superficie y/o nivel freático alto), lo que impide el desarrollo radicular (Jackson y Gifford, 1974; Schlatter, 1977).

2.4.4.2 Estructura. La estructura se define como el arreglo espacial del material del suelo, que origina agregados, terrones, bloques y prismas (Pritchett, 1979; Brady, 1984). Resulta de la agregación de las partículas de suelo, por agentes diversos entre los que se incluyen sustancias cementantes (como carbonatos, materia orgánica y óxidos), fuerzas electrostáticas, y presiones externas e internas, principalmente. Se expresa a través de los agregados del suelo, los que van desde microagregados, hasta los terrones.

También, la forma y el grado de desarrollo de los agregados varía ampliamente entre los suelos y aún en el perfil de un mismo suelo. Estos aspectos permiten precisamente clasificar y evaluar la estructura de un suelo.

La agregación de las partículas del suelo, vale decir, la estructuración del suelo, está asociada a dos características claves para el desarrollo de las plantas: la porosidad y la densidad aparente. La porosidad se desarrolla a medida que el suelo se agrega y por el contrario, la densidad aparente aumenta cuando la porosidad se reduce. Estructura y porosidad son consideradas propiedades culturales ya que su estado, en un momento dado, puede ser el resultado del uso y manejo del suelo. A diferencia de la textura que es una propiedad genética del suelo, la estructura y la porosidad son características que el silvicultor puede manipular (las mejora, las mantiene o las empeora).

Algunas condiciones y características de los suelos, tales como el movimiento del agua, transferencia de calor, la aireación, la densidad y porosidad del suelo, están altamente influenciadas por la agregación o arreglo de las partículas (Pritchett, 1979; Brady, 1984). A este respecto, interesa tanto una alta porosidad, como una equilibrada distribución u ocurrencia de poros de diferentes tamaños. La estabilidad de los agregados es la garantía de la existencia de los poros.

Una buena estructura se considera a aquella que posee grandes cantidades de poros, con los agregados suficientemente grandes para no ser arrastrados por el viento o el agua y lo bastante pequeña para permitir una buena germinación de las

semillas y que no sean estables para que cuando se humedezcan mantengan su individualidad (Pritchett, 1979).

Es importante destacar que un cultivo continuo tiene efectos desfavorables sobre la estructura debido a la ruptura mecánica de los agregados, reducción del contenido de materia orgánica, acompañado de un aumento de la densidad aparente y una disminución del volumen de poros. Es conocido que los suelos compactados suelen impedir el enraizamiento de las plantas (Pritchett, 1979; Brady, 1984).

2.4.4.3 Densidad aparente. La densidad aparente se define como la relación entre el peso seco de una muestra de suelo sin disturbar y su volumen, en el que se incluyen el espacio poroso (Pritchett, 1979; Brady, 1984).

Pritchett (1979) señala que en los suelos forestales la densidad varían entre 0,2 gr./cc, en algunas capas orgánicas, hasta el 1,9 gr./cc, en suelos arcillosos. En suelos limosos la densidad aparente varía entre 1,0 y 1,6 gr./cc. Mientras que en suelos arenosos esta variación oscila entre 1,2 y 1,8 gr./cc y puede incluso llegar hasta 2,0 gr./cc en suelos muy compactados (Brady, 1984).

Valores bajos de densidad aparente están asociados a suelos porosos, bien aireados con buen drenaje, condiciones ideales para un buen desarrollo de las raíces y para el crecimiento de los árboles. Por el contrario, valores altos de densidad aparente indican compactación, pobre aireación y baja infiltración (Donoso, 1981). Wilde (1958), citado por Hidalgo (1980) afirma que valores de aparente mayores que 1,75 gr./cc en arenas y 1,55 gr./cc en arcilla, impiden el desarrollo de las raíces.

En general, los horizontes superficiales poseen densidades inferiores a los horizontes profundos debido a un mayor contenido de materia orgánica, actividad biológica y mayor agregación (Carrasco y Millán, 1990). Los suelos graníticos, presentan una densidad aparente similar en todo el perfil, debido a que han perdido los horizontes superficiales por efecto de la erosión (Carrasco y Millán, 1990).

Diversos autores destacan la importancia de la densidad aparente como factor importante en la determinación del índice de sitio. Entre otros, Schlatter et al. (1982) y Froehlich et al. (1986) observaron una relación curvilínea negativa y muy significativa. Hidalgo (1980) al estudiar los factores edáficos que limitan el desarrollo del pino en la provincia de Cautín, recomienda que suelos densos y mal drenados, deben ser descartados en forma definitiva para el cultivo de esta especie, aún cuando sean planos.

2.4.4.4 Porosidad del suelo. El volumen total de poros de un suelo es el espacio ocupado por agua y aire entre los agregados del suelo, o el espacio del suelo no ocupado por sólidos. Se expresa como porcentaje del volumen total de suelo (Pritchett, 1979; Brady, 1984; Donoso, 1981). El volumen total de poros es normalmente mayor en el horizonte A, donde puede alcanzar 45 a 50% en volumen y disminuye en los horizontes inferiores, hasta 25 a 30% (Pritchett, 1979). Según este mismo autor, la porosidad en suelos forestales varía entre 30 y 65%.

La porosidad comprende poros de distintos tamaños, los que se clasifican en general, en capilares o microporos, que

corresponden a aquellos con diámetros menores de 0,06 mm , y los no capilares o macroporos los cuales tienen diámetros mayores a 0, 06 mm (Brady, 1984). La porosidad no capilar (macroporos) es importante respecto de la aireación y el drenaje interno del suelo. Los microporos en cambio juegan un rol muy importante en la determinación de la capacidad del suelo para retener y suministrar agua aprovechable (Donoso, 1981).

La materia orgánica contribuye a desarrollar la porosidad del suelo, favoreciendo el desarrollo y la distribución de los tamaños de los poros, especialmente en suelos de textura ligera. Peña (1974) reporta en suelos arenales una relación directa entre la cantidad de materia orgánica y el aumento de la porosidad en suelos arenales de la VIII Región.

El volumen total y la distribución de los tamaños de los poros es muy importante desde el punto de vista del desarrollo de las plantas, porque determina el espacio disponible para el agua y el aire. Los suelos arenosos generalmente son bien aireados, pero tienen baja Capacidad de Campo debido a la pequeña proporción de porosidad capilar. Los suelos arcillosos tienen una alta Capacidad de Campo, pero son en general pobremente aireados debido al escaso volumen de poros no capilares. Probablemente, las mejores condiciones se encuentran en aquellos suelos que tiene una alta porosidad, la mitad de la cual corresponde a poros capilares y la otra mitad a no capilares (Donoso, 1981). Schlatter et al. (1982) demuestran que el volumen de poros presenta una sucesión positiva, casi rectilínea y muy significativa con el índice de sitio.

2.4.4.5 Aireación del suelo. La aireación del suelo se refiere al abastecimiento del oxígeno indispensable para el buen desarrollo de los microorganismos aeróbicos y de las raíces de las plantas. Aireación es sinónimo de intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera (Pritchett, 1979; Donoso, 1981). El régimen de aire del suelo depende principalmente de la presencia de una adecuada cantidad de macroporos, estructura bien desarrollada y un adecuado drenaje interno. Se le considera como un indicador de crecimiento y sobrevivencia de los árboles y las plantas en general, la mayoría de los cuales requiere de suelos bien aireados (Broadfoot, 1969; Donoso, 1981).

Para que la aireación de un suelo sea adecuada debe haber una constante renovación del oxígeno que proviene de la atmósfera y una constante evacuación del CO₂ desde el suelo hacia la atmósfera exterior (Donoso, 1981). La aireación es muy baja en suelos arcillosos compactados y aumenta considerablemente con las texturas francas u franco-arenosas, a la vez que disminuye el grado de compactación (Donoso, 1981). La mayor parte de los árboles forestales requiere contenidos de oxígeno en el suelo superiores al 10% para obtener una adecuada tasa de respiración y crecimiento de las raíces. No obstante lo anterior, las raíces pueden soportar niveles de oxígeno de hasta 2%, sin sufrir mayores daños (Donoso, 1981).

La literatura consultada sobre este tema informa que la aireación deficiente por drenaje restringido, retarda la descomposición de la materia orgánica y, por lo tanto, la mineralización del nitrógeno, llegando a afectar negativamente el régimen nutritivo del suelo, y el crecimiento de las plantas (especialmente el de las raíces) y la tasa de absorción de nutrientes y agua. Además de

favorecer la formación de ciertos componentes inorgánicos tóxicos para el desarrollo normal de los vegetales (Kramer y Koslowsky , 1960; citados por Donoso, 1981 y Brady, 1984).

2.4.4.6 Profundidad efectiva del suelo. Se define como la parte de suelo arraigable donde las raíces pueden penetrar con facilidad y donde se almacena el agua y los elementos nutritivos requeridos por éstas (Peralta, 1976). Numerosos estudios han revelado una relación positiva entre altura del rodal y la profundidad efectiva del suelo donde crecen, hecho que ha sido atribuido precisamente a un mayor abastecimiento de agua y nutrientes (Donoso ,1981; Steinbrenner ,1968; Jackson y Gifford ,1974; Schlatter et al. ,1982; García , 1982 ; Francke et al. ,1988 y Schlatter ,1977). Gandulo et al. (1974) afirma que el pino radiata necesita para su óptimo desarrollo, de suelos de más de un metro de profundidad.

2.4.4.7 Capacidad de retención de agua aprovechable. Se refiere a la fracción del agua total contenida por un suelo que está retenida, con niveles de energía tales que puede ser absorbida por las plantas. Es definida como aquella humedad que se encuentra retenida a tensiones que oscilan entre $1/3$ y 15 atmósferas.

El contenido de humedad a Capacidad de Campo (CC) corresponde a la humedad retenida a tensiones mayores o igual a $1/3$ atmósferas (tras 24 horas de drenaje libre). La cuantía del agua disponible o Capacidad de Campo está fuertemente influenciada por la estructura, porosidad, la cantidad de materia orgánica y la textura del suelo (Daniel et al., 1982; Brady, 1984; Pritchett, 1979). Esto es corroborado por Daniel et al. (1982) quien sostiene que el contenido de humedad a Capacidad de Campo es baja en suelos

arenosos y alto en los de textura fina (arenosos, 6%; franco arenosos, 14%; franco, 21%; franco limoso, 26%; franco arcilloso, 28%).

El Punto de Marchitez Permanente (PMP) se define como el contenido de humedad de una muestra de suelo a una tensión de 15 atmósferas para suelos no arenosos y 10 atmósferas para suelos arenosos (Daniel et al., 1982). También el PMP está influenciado por la textura del suelo (arenoso, 3%; franco arenoso, 7,5%; franco limoso, 13,5%; franco arcilloso, 16%), y parece ser independiente de la especie de planta (Daniel et al., 1982). Brady (1984), indica que el agua disponible en el suelo cumple con las funciones de ser asimilable para las plantas cuando éstas lo necesiten, solubilizar los elementos nutritivos y transportarlos para cubrir los requerimientos de los vegetales y controlar la temperatura del suelo. El óptimo contenido de agua para las plantas sería cuando éste ocupa entre 50 y 60% del espacio poroso total (Demolon, 1966; citado por Bonnefoy, 1982). En general el contenido de agua aprovechable es superior en suelos de textura fina y media, que en aquellos de textura gruesa, dado la alta porosidad y contenido de materia orgánica de los suelos finos y medios.

2.4.5 Propiedades químicas del suelo. Siempre han existido diferencias de opinión en el sentido si son más importantes las propiedades físicas que las químicas de los suelos, muchos le asignan a éstas últimas un carácter secundario (Coile, 1948; Coile y Schumacher, 1953; Carmean, 1954 citados por García, 1982). Al respecto puede decirse que si un suelo tiene características físicas adversas, éstas limitarán el crecimiento de las plantas, ya que suelen ocurrir síntomas de deficiencias de nutrientes, aunque estén presentes, su movilización, absorción y transporte se dificulta, de una u

otra forma, , fenómeno que puede ocurrir con el boro en los suelos graníticos de la costa en su vertiente oriental, comparado con los de la vertiente occidental, (Donoso, 1981).

2.4.5.1 La reacción del suelo. El pH constituye un excelente indicador de la dinámica química de los suelos, y está estrechamente relacionado con la nutrición forestal, particularmente con las reservas y disponibilidad de nutrientes. Varios autores sugieren que el pH es un indicador más de la calidad de sitio, ya que la reacción del suelo está asociado a características físicas, químicas y biológicas de los suelos (Russell, 1959; Black, 1975; citados por Hidalgo, 1980).

Pritchett (1979) afirma que la mayoría de los suelos forestales tienen reacción ácida (pH que varía entre 3,5 a 6,5 , lo que significa que van de moderadamente ácidos a fuertemente ácidos) como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la hojarasca. En Chile el pino se cultiva en suelos cuyos valores de pH oscilan entre 5 y 6, lográndose un buen desarrollo. En suelos más ácidos, con valores de pH inferiores a 5, suelen presentarse perturbaciones; deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio, y toxicidades de aluminio y manganeso. El cultivo de pino en suelos alcalinos, también presenta serias limitantes de tipo nutricional, lo que se traduce en un muy pobre desarrollo de los rodales (Pritchett, 1979; Francke, 1988; Francke et al., 1988; Schlatter, 1977).

2.4.5.2 Materia orgánica. La materia orgánica influye sobre las características físicas y químicas del suelo, e influye positivamente en el crecimiento en altura de los árboles. En

relación a la influencia de la materia orgánica sobre las características físicas de los suelos, varios autores coinciden que a mayor contenido de ésta, disminuye la densidad, mejora la estructura y aumenta la porosidad. Todo lo cual beneficia el régimen hídrico del suelo, en particular, la capacidad de retención de humedad aprovechable para las plantas. No menos importante es la influencia de ella sobre las propiedades químicas de los suelos siendo que es la mayor fuente de elementos minerales como el fósforo y azufre, y básicamente la única fuente directa de nitrógeno en el suelo. Además, es fuente de energía para los microorganismos del suelo, y sin ella la actividad bioquímica sería prácticamente nula (Brady, 1984; Daniel et al., 1982; Donoso, 1981; Pritchett, 1979).

En general, el contenido de materia orgánica en el suelo es pequeña, siendo alrededor de 3 a 5% del peso seco de un suelo, encontrándose principalmente en el horizonte superficial, decreciendo en los estratos inferiores. En los suelos minerales puede llegar a 18 a 20%, y hasta 90% y más en suelos orgánicos (Brady, 1984; Daniel et al., 1982).

2.4.5.3 Disponibilidad de elementos nutritivos. La disponibilidad de elementos nutritivos para las plantas, está condicionada, tanto por las cantidades que existen en el suelo como por distintos procesos, a través de los cuales éstos elementos resultan disponibles o no para las plantas. Debido a esto, las disponibilidades de algunos elementos nutritivos, pueden llegar a ser limitantes para el normal desarrollo de las plantas.

El nitrógeno es un elemento esencial para la vida de los vegetales y de los animales, porque constituye parte de

moléculas claves como son las proteínas, las nucleoproteínas, aminas y polipéptidos. Los tejidos requieren de un suministro abundante de compuestos nitrogenados para su reproducción y crecimiento. Es conocido que el Nitrógeno es el principal elemento que suele limitar el crecimiento tanto en silvicultura, como en la producción agropecuaria (Daniel et al., 1982).

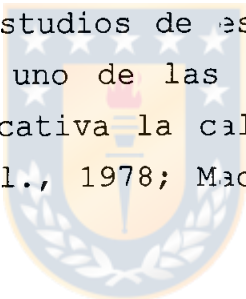
El fósforo es necesario en todos los procesos vitales de los vegetales, como ocurre con la fotosíntesis, la síntesis y descomposición de los carbohidratos y la transferencia de energía dentro de la planta. Constituye la mayor parte de núcleo celular, está presente en el citoplasma donde está íntimamente relacionado con la estructura de la célula y en la transferencia de las características hereditarias (Daniel et al., 1982). En general, la asimilación del fósforo se ve fuertemente afectada a pH inferiores a 4 y superiores a 8. El Fósforo es el segundo nutriente en limitar el rendimiento en la producción vegetal, después del Nitrógeno.

El potasio juega un rol importante en el crecimiento aéreo y radicular, en la neutralización de ácidos orgánicos e interviene en el metabolismo de carbohidratos y proteínas (Daniel et al., 1982). En general, el potasio no suele ser causa de reducción de los rendimientos, excepto en los arenales (Daniel et al., 1982).

La deficiencia de potasio provoca un acortamiento de los tallos, presentándose las plantas con un aspecto achaparrado, adquiriendo un color tostado y la muerte total o parcial de los tejidos foliares (Black, 1975 citado por Hidalgo (1980); Daniel et al., 1982).

El calcio juega un rol importante en las plantas al estar relacionado con el desarrollo meristemático y en la elongación de las raíces. Es un elemento de gran importancia desde el punto de vista de la fertilidad de los suelos forestales, debido a que ejerce una gran acción sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Daniel et al., 1982).

García (1982) encontró que para los suelos de la cordillera de la costa de la VII región, el fósforo y el potasio tenían una buena correlación con el índice de sitio. Por otro lado, Mader (1976); Brown et al., (1978) y Bowersox et al., (1972) concluyen que el calcio juega también un rol importante en la productividad de los sitios. El nitrógeno no está ausente de los estudios de este tipo, ya que muchos autores lo señalan como uno de las variables de suelo que afecta de manera significativa la calidad de sitio (Francke et al., 1988; Brown et al., 1978; Mader, 1976 y Bowersox et al., 1972, entre otros).



III MATERIALES Y METODOS.

La información referente a suelos y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, en que se basa éste estudio ha sido proporcionada por el proyecto "Suelos Forestales de la VIII Región", desarrollado por el Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción. Este proyecto, entre otros, estudia los suelos graníticos de la Vertiente Oriental de la Cordillera de la Costa, específicamente las serie Cauquenes (CQ) y San Esteban (ET), (Carrasco y Millán, 1990).

3.1 Área de estudio.

3.1.1 Ubicación. El área de estudio se ubica entre los 36° y los 37°50' de latitud sur (Fig. 1), en una franja de unos 45 kilómetros de ancho sobre la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa de la VIII Región, abarcando una superficie de unas 660.000 ha., de las cuales 80.000 están plantadas en la actualidad (Carrasco y Millán, 1990).

3.1.2 Descripción del ambiente físico. El clima es de transición, entre mediterráneo y templado, con precipitaciones anuales que varían entre los 1.000 y los 1.200 mm., con 2 a 4 meses secos en el año. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 13°C y los 15°C.

El relieve va desde ondulado hasta montañoso, con superficies rocosas o comienzos de sedimentación. Los suelos son de posición intermedia, cuyo material de origen es roca intrusiva rica en cuarzo, granito o diorita cuarzosa. Son suelos susceptibles a la erosión; en general presentan erosión severa especialmente las series San Esteban (ET) y Cauquenes (CQ), objeto del presente estudio. En efecto, aunque el material parental es homogéneo (rocas graníticas), los suelos ocupan posiciones intermedias con relieves de lomajes, en la serie Cauquenes (CQ) hasta terrenos elevados de relieves quebrados, en las cimas de la vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, donde se encuentra la serie San Esteban (ET).

3.2 Metodología de terreno.

La información se basa en 92 unidades muestrales, repartidas entre ambas series de suelo en forma proporcional a la superficie plantada con pino en cada una. Los puntos de muestreo fueron distribuidos en forma aleatoria en los predios seleccionados, y en éstos, las unidades muestrales fueron establecidas en un rodal adulto (mayor de 15 años) o en uno joven, entre 1 y 8 años de edad.

3.3 Unidad muestral.

El número de unidades muestrales se estableció por serie de suelo y por edad, conforme se muestra en la Tabla 1.

Serie	1 - 8 años	> 15 años	Total
Cauquenes (CQ)	9	13	22
San Esteban (ET)	28	42	70
Total	37	55	92

Tabla 1. Unidades muestrales por serie de suelo y edad.

Para cada una de estas unidades muestrales, se cuenta con información de suelo (propiedades físicas, químicas y fisiográficas) y antecedentes dasométricos de rodales adultos (Índice de Sitio). Se establecieron calicatas en las plantaciones jóvenes, con el objeto de describir y caracterizar cuantitativamente el grupo de suelo y sus respectivas series. En cada caso, la calicata fue abierta junto al árbol dominante, más central de la parcela, a no más de 2 metros de éste.

3.3.1 Antecedentes de suelo. Para el estudio de los suelos, se muestrearon y describieron en 3 profundidades fijas para todas, partiendo desde la superficie y de 30 cm. de espesor cada una, quedando delimitadas entre 0 - 30 ; 30 - 60 y 60 - 90 centímetros. Las muestras tomadas en bolsas de polietileno, debidamente identificadas, se trasladaron rápidamente al laboratorio para sus determinaciones físicas y

químicas. Estas determinaciones se realizaron usando los métodos que se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Métodos usados para determinar las variables de suelo.

DETERMINACIONES	UNIDAD	METODO
FISICAS		
Textura	%	Day H drometro ASTM
Esqueleto	%	Tamiz de 2 mm.
Capacidad de campo	%	Peters 1/3 atmosferas
Punto de march. perm.	%	Peters 15 atmosferas
Densidad aparente	gr/cc	Del Ci indro
QUIMICAS		
pH en agua	-	Electrécdo combinado
Nitrógeno total	%	Kjendahl
Fósforo	ppm	Bray & Kurts
Materia orgánica	%	Combi stión húmeda
Potasio	m. eq/100gr de suelo	Fotometría en llama
Calcio	m. eq/100gr de suelo	Espectroscopía absorción atómica en llama
FISIOGRAFICAS		
Altitud	m.s.n.m.	Carta I.G.M escala 1 : 50.000

3.3.2 Antecedentes dasométricos. Para la selección del punto de muestreo en que se preparó la calicata, en la parcela seleccionada se ubicó el árbol dominante más cercano a su centro al que se le midió el Dap, la altura total y se trozó cada un metro para obtener rodela que se utilizaron para hacer el análisis de tallo. En cada rodela del árbol dominante seleccionado se efectuaron mediciones de los anillos de crecimiento en dos radios orientados en 90 grados. Con el promedio de ambas mediciones y usando el método gráfico para análisis fustal, se determinó la altura que alcanzó o alcanzaría el árbol a los 20 años de edad. Esta altura representa el índice de sitio utilizado en este estudio.

3.4 Procesamiento de datos y análisis estadístico.

3.4.1 Bases de datos. Una vez obtenidos los datos provenientes de laboratorio, se almacenaron en archivos Excel para permitir un rápido y adecuado manejo de las variables en estudio y permitir su transformación a otros formatos usados por el software estadístico. Con esta información se realizó una caracterización cuantitativa tanto del grupo, como de las series de suelo, por estratos de 30 centímetros cada uno, en cada una de las calicatas.

3.4.2 Ajuste de las variables. Cada una de las variables, tanto dependientes (IS) como independientes de los tres estratos, fueron ajustadas a otra forma distinta a la lineal, con el objeto de buscar una mejor relación entre la variable dependiente y la independiente. Estos ajustes fueron hechos a la forma de logaritmo natural, el cuadrado de la variable, el recíproco de la variable y el recíproco de la variable al cuadrado.

Posteriormente se determinó la matriz de correlación de Pearson entre cada una de las variables dependientes (índice de sitio y cada uno de sus ajustes) y las independientes, con el objeto de visualizar el comportamiento en crecimiento del pino en función de cada una de las variables usadas en el estudio (Jackson y Gifford, 1974; Steinbrenner, 1979; Schlatter, Gerding y Bonnefoy, 1982; Vera, 1988).

De cada variable independiente y sus respectivos ajustes, se seleccionó a aquel ajuste que presentaba mejor correlación con el índice de sitio o de sus ajustes, medido a través del coeficiente de correlación (R), que indica el grado de

asociación entre dos variables (Dickmers y Todd, 1971). Este mismo análisis se realizó tanto para el índice de sitio, como para sus ajustes.

Posteriormente se eliminaron aquellas variables independientes que estaban correlacionadas entre sí, para ello se consideró las que presentaban un coeficiente de correlación (R) mayor a 0,5, el cual se fue disminuyendo en aquellos casos en que se seguía presentando una correlación entre variables independientes.

3.4.3 Relación funcional y comportamiento de variables.

Luego, usando regresiones lineales múltiples se conoció la relación funcional de las variables dependientes (IS y cada uno de sus ajustes) con todas las variables independientes seleccionadas de entre los ajustes. Estas ecuaciones nos indican el comportamiento de una variable dependiente, en función de todas las variables independientes usadas y que no están relacionadas entre sí. Este análisis señala la participación cuantitativa de cada factor del sitio en la explicación de la variable dependiente. Muchos autores a nivel nacional e internacional lo han aplicado con resultados satisfactorios, entre los cuales se puede citar a Jackson y Gifford, 1974; Steinbrenner, 1979; Schlatter, Gerding y Bonnefoy, 1982; Vera, 1988, explicando en una alta proporción las variaciones de productividad de la especie analizada.

Finalmente se utilizaron regresiones Paso a Paso (Draper y Smith, 1966) para conocer la variabilidad del índice de sitio en función de algunos de los factores del sitio, que son los que matemáticamente están mas ligados a la explicación de la variable dependiente. Esta o estas variables seleccionadas,

son las que mejor explican las variaciones de ese parámetro. Las regresiones paso a paso integran todos los factores del sitio para explicar su incidencia en la productividad.

Esta metodología descrita fue aplicada de igual manera tanto en el grupo de suelos graníticos, como para cada una de las dos series de suelo en estudio, obteniéndose tres ecuaciones que nos permiten estimar la productividad a través del índice de sitio, sólo con conocer las características del suelo, aún cuando no existan plantaciones establecidas en el lugar o en sus alrededores.

3.4.4 Prueba de hipótesis. A cada una de estas tres ecuaciones de regresión, se le realizó una prueba de hipótesis al coeficiente de correlación, con el objeto de conocer el riesgo de error para distintos niveles de significación, especialmente debido al bajo número de muestras usadas para el análisis, principalmente a nivel de series de suelo (Dickmers y Todd, 1971).

Los procesos estadísticos, la matriz de correlación de Pearson y las ecuaciones para estimar el índice de sitio, fueron realizados usando el software "SYSTAT".

IV RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Productividad de los Suelos Graníticos.

Los suelos rojos graníticos se ubican en un área donde se presentan fuertes variaciones respecto de la topografía, relieve y clima.

A la heterogeneidad natural se suma aquella que deriva de la intervención del hombre en el que no siempre ha dado usos y manejos adecuados a estos suelo, los que se presentan gravemente erodados, decapitados y/o compactados. Situaciones que se reflejan en la productividad de los suelos rojos graníticos, que son muy variables , como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de Índice de sitio para el Pino en el Grupo y Series de suelos.

ÍTEM	GRUPO SUELOS	SERIE CAUQUENÉS (14)	SERIE SAN ESTEBAN (15)
num	37	9	28
min	17,80	18,30	17,80
max	34,10	33,10	34,10
prom	27,82	27,90	27,80
desv	4,87	4,91	4,95

De la Tabla 3 se puede concluir que la calidad de sitio promedio para el grupo de suelos rojos graníticos es de 27,82 m. de altura a una edad clave de 20 años, con valores máximos de 34,10 m. y mínimo de 17,80 m., con una desviación estándar de 4,87 m..

En la serie Cauquenes el IS promedio es de 27,9 m. con un máximo de 33,1m. , un mínimo de 18,3 m. y un desviación de

4,91 m.. Para la serie San Esteban los valores observados son similares a los de la serie Cauquenes, presentando un promedio de 27,8 m., un máximo de 34,1 m., un mínimo de 17,8 m. y una desviación de 4,95 m..

Estos resultados sugieren que el comportamiento del índice de sitio para el pino, a nivel de las dos Series del Grupo granítico, no es substancialmente distinto, como se puede verificar al compararlos, ya que presentan valores similares en cuanto a promedios, valores máximos, mínimos e incluso en la desviación estándar.

Esta similitud del índice de sitio de los sitios a nivel de Series, se explicaría principalmente por el hecho que ambas provienen del mismo material de origen y que su distribución geográfica dentro del área de estudio, fue muy cercana.

4.2 Determinaciones físicas y fisiográficas.

Como ya se dijo en el capítulo III (materiales y métodos) , el estudio de las propiedades físicas y químicas de los suelos se refiere a tres estratos sucesivos en el perfil a profundidades de 0 a 30 cm., 30 a 60 cm., y 60 a 90 cm. Estos resultados constituyen la base para el cálculo de la relación de estos datos con el Índice de sitio. Los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar a nivel del grupo de suelos, se muestra en el apéndice N° 1.

4.2.1 La textura del suelo. En la Tabla 4 se presentan los porcentajes de arena, limo, arcilla y esqueleto, en términos de contenido mínimo, máximo, promedio y desviación estándar, para cada serie por estratos.

Tabla 4. Contenidos de arena (%), limo (%), arcilla (%) y esqueleto (%) por series de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
ARENA						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Minimo	21.30	16.50	24.50	8.30	19.10	3.50
Maximo	55.50	67.30	54.00	65.20	50.30	69.40
Promedio	34.87	40.51	32.21	38.21	25.17	39.77
Desv. est.	8.35	10.99	6.52	12.14	6.60	14.77
LIMO						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Minimo	11,70	11,20	14,60	12,20	19,10	12,80
Maximo	44,90	68,30	47,00	69,20	50,30	65,80
Promedio	25,05	25,75	25,26	24,11	25,17	24,49
Desv. est.	7,65	8,20	7,56	8,03	6,60	8,34
ARCILLA						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Minimo	21,00	9,20	18,20	8,20	18,30	3,40
Maximo	52,80	63,00	55,00	68,10	53,20	68,20
Promedio	40,08	33,71	42,53	37,68	41,98	35,25
Desv. est.	9,49	10,57	9,46	11,86	8,95	13,82
ESQUELETO						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Minimo	3,59	0,01	1,31	0,01	4,57	0,01
Maximo	45,26	37,12	50,32	55,86	48,10	53,76
Promedio	17,14	14,60	20,00	16,32	21,42	15,73
Desv. est.	10,00	9,71	13,63	13,11	12,29	12,51

Analizando por serie y en profundidad del perfil, se observa una muy escasa variabilidad de los contenidos mínimos y máximos de arena para la serie Cauquenes. La magnitud del

contenido promedio y de la desviación estándar, denotan también la uniformidad relativa de los estratos en el perfil en cuanto a su contenido de arena.

Sin embargo, la diferencia entre el valor mínimo y máximo del contenido de arena para cada estrato o nivel de profundidad, oscila alrededor de un 31% lo que revela una amplia variabilidad en la población de los suelos Cauquenes, respecto de su contenido de arena y, consecuentemente respecto de las propiedades de los suelos asociadas a la fracción arena.

En los suelos San Esteban, los contenidos mínimos de arena, menores que en la CQ, tienden a decrecer drásticamente con la profundidad del perfil (16,5%, 8,3% y 3,5% respectivamente), mientras que los contenidos máximos, superiores a los de la CQ (67,3%, 65,2% y 69,4% respectivamente), y la diferencia promedio en los contenidos mínimos y máximos es de aproximadamente de un 57%, el doble de esa diferencia en CQ. Esto significa que la variabilidad, respecto del contenido de arena y sus manifestaciones en el comportamiento del suelo, es mucho más amplia en los suelos ET que en los CQ.

El análisis de los datos correspondientes a limo, nos muestran un comportamiento similar al descrito para el contenido de arena, para ambas series.

Respecto de la fracción arcilla, la Tabla 4 revela una distribución uniforme en el perfil tanto para la serie CQ como para la ET, tanto en términos de valores mínimos y máximos, con dos diferencias importantes: el contenido de arcilla es mayor que el de limo en la serie CQ y los rangos

de variación entre valores máximos y mínimos son mayores que los rangos para limo y arena, especialmente para la serie ET.

En resumen, estos resultados revelan que en ambas series existe una amplia variabilidad en cuanto a composición textural, variabilidad que se acentúa más si se considera la ocurrencia de esqueleto, el que puede fluctuar entre 0 y 56%. Con todo, estos resultados sugieren que la mayor variabilidad textural y por lo tanto el comportamiento físico y químico del suelo, descansa en la fracción arcilla.

4.2.2 El agua en el suelo. El agua en el suelo se refiere a la capacidad de retener humedad y está representada por la capacidad de campo (CC), el punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible. En la Tabla 5 se muestran los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar, para cada una de estas variables, y para cada serie de suelo.

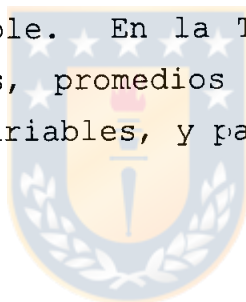


Tabla 5. Contenidos de humedad del suelo a CC y PMP (en %) y Agua disponible (m³/ha), por serie de suelo y por estrato.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
Cap. de Campo						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	14,20	13,10	16,30	10,10	18,40	8,00
Máximo	32,40	46,20	32,20	43,30	34,80	38,70
Promedio	31,67	24,47	23,14	23,45	23,22	23,31
Dev. est.	3,67	6,51	3,90	5,53	3,71	5,09
Pto. March. Permanente						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	8,00	6,80	8,30	6,30	10,10	3,40
Máximo	20,00	24,80	20,70	26,10	19,70	23,90
Promedio	13,12	14,42	14,77	13,89	14,48	13,53
Dev. est.	2,75	4,61	2,84	4,14	2,58	4,15
Agua Disponible						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	210,60	196,80	204,10	182,40	215,00	201,50
Máximo	570,00	583,20	495,00	608,60	554,30	669,20
Promedio	345,93	343,29	337,90	354,03	360,60	372,74
Dev. est.	82,32	78,37	81,66	79,90	91,67	85,98

A nivel de grupo el contenido de humedad a CC es homogénea a través del perfil, con valores promedios cercanos al 23,5% con un rango de variación entre 10 y 46%. En las series, se presenta una muy leve diferencia cercana al 2%, siendo superior en la serie ET. Sin embargo es importante destacar que en la serie ET la variación entre los valores máximos y mínimos es mayor, en el doble, respecto de CQ. Estos resultados concuerdan con los reportados por Daubenmire (1974), citado por Donoso (1981), quien informa que la capacidad de campo óptima para suelos forestales varía entre un 5 - 40%.

El contenido de humedad correspondiente al PMP del grupo de suelos, al igual que al asociado a CC, también es homogéneo a través del perfil, con valores promedios cercanos al 14% y un rango de variación entre 3 y 26%. Al separarlo por series, la tendencia se mantiene igual que a nivel de grupo, y presentando la misma diferencia entre valores máximos y mínimos que la observada respecto de CC (ET es el doble que CQ). Rangos de humedad como los exhibidos por estos suelos, se consideran aceptables para fines forestales (Donoso, 1981).

El agua disponible depende directamente de la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, y se define como la diferencia en los contenidos de humedad entre ambos parámetros. El agua disponible, promedio para el grupo fluctúa entre 342 m³/ha. en el primer estrato, a 369 m³/ha. en el tercero, tendiendo a aumentar levemente desde el primer estrato hacia el tercero. En cuanto a las series, la ET presenta un valor medio levemente superior a la CQ, manteniéndose la tendencia a aumentar en profundidad. La serie ET presenta rangos de variación mayores que la serie CQ (en promedio 330 m³/ha para la serie CQ y 427 m³/ha para la ET).

4.2.3 Porosidad del suelo. La porosidad total del suelo se refiere al volumen total de poros que éste tiene y está representado por la porosidad capilar y la porosidad no capilar. En la Tabla 6 se muestran los valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar, para cada una de estas variables y por serie de suelo.

Tabla 6. Porosidad Total (%), Porosidad Capilar (%) y No Capilar (%), por serie de suelo y por estrato.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
POROSIDAD TOTAL						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	41,89	41,13	37,74	35,09	40,38	32,45
Máximo	55,09	74,72	61,89	70,19	57,74	66,42
Promedio	49,17	55,91	49,21	52,49	48,20	51,56
Desv. est.	4,25	7,57	5,48	7,18	4,45	6,14
POROSIDAD CAPILAR						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	14,20	13,10	16,30	10,10	18,40	8,00
Máximo	32,40	46,20	32,20	43,30	34,80	38,70
Promedio	21,67	24,47	23,14	23,45	23,22	23,31
Desv. est.	3,67	6,51	3,90	5,53	3,71	5,09
POROSIDAD NO CAPILAR						
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	18,50	8,90	9,50	6,20	17,20	1,50
Máximo	36,50	45,00	40,30	42,60	38,20	41,60
Promedio	27,50	31,44	26,07	29,04	24,98	28,26
Desv. est.	4,71	6,30	5,48	5,28	4,59	6,14

La importancia de la porosidad radica más en la distribución de los tamaños de poros que en la porosidad total. Según Brady (1984), en suelos forestales, la porosidad varía entre 40 - 60%, en volumen.

La porosidad total en la serie CQ se mantiene constante a través del perfil, en un valor de 49%, no así en la serie ET donde el promedio baja desde el primero hasta el tercero (55.91%, 52,49% y 51,56% respectivamente). El valor del grupo varía entre 54,38% en el primer estrato, a 50,75% en el tercero.

La serie ET presenta valores medios un tanto superiores que la serie CQ, diferencia que tiende a minimizarse a medida

que aumenta la profundidad. El rango de variación entre valores mínimo y máximo, también es mayor en la serie ET, denotando una mayor heterogeneidad de la porosidad en todo el perfil, con respecto a la serie CQ. Según Wilde (1959), citado por Donoso (1981), el rango de variación de la porosidad total es entre 30 a 65%, con una distribución ideal de 50% de poros capilares y 50% de poros no capilares.

La porosidad capilar representa el volumen de poros capilares o microporos en relación al volumen total de la muestra de suelo. En el grupo de suelos el volumen de la porosidad capilar es constante a través del perfil, con un valor de 23% y un rango de variación entre 8 y 46%. Para las series, éste parámetro es muy similar, excepto en el primer estrato de la serie ET, donde es un tanto mayor. La diferencia entre valores mínimos y máximos, también es mayor en la serie ET.

La porosidad no capilar, tanto a nivel de grupo como de series, presenta una tendencia a disminuir con la profundidad del suelo. El promedio para el grupo va desde 30,65% en el estrato uno, a 27,51% en el tercero. A nivel de serie, la ET presenta valores un poco superiores a la CQ, en aproximadamente un 3%. El rango de variación entre valor mínimo y máximo es también mayor en la serie ET.

4.2.4 Densidad aparente. La densidad aparente del grupo de suelos graníticos, muestra una leve tendencia a aumentar con la profundidad, debido a una mayor compactación del suelo y a que han perdido los horizontes superficiales por efecto de la erosión. Los valores medios van desde 1,21 gr./cc. en el primer estrato, hasta 1,29 gr./cc. en el tercero, fluctuando entre 0,7 a 1,8 gr./cc., con una desviación estándar de 0,2 gr./cc..

Al observar el comportamiento a nivel de series, se aprecia la misma tendencia a aumentar con la profundidad, notándose valores mayores en la serie CQ con respecto a la ET. Esta última presenta un rango de variación (valor mínimo y máximo) mas amplio que la CQ como se observa en la tabla 7.

Tabla 7. Valores de Densidad Aparente (gr/cc), por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	1,19	0,67	1,01	0,79	1,12	0,89
Máximo	1,54	1,56	1,65	1,72	1,58	1,79
Promedio	1,35	1,17	1,35	1,26	1,37	1,28
Desv. est.	0,11	0,20	0,15	0,19	0,12	0,16

Según Donoso (1981), los suelos arcillosos tienen densidades entre 1,0 y 1,6 gr./cc, lo que los clasifica como valores altos lo que suele asociarse con una gran compactación, pobre aireación y baja infiltración.

4.2.5 Altitud. Al observar la Tabla 8 se ve claramente que la serie San Esteban ocupa una posición más alta que la Cauquenes, llegando incluso a los 700 m.s.n.m., que sobrepasa el límite de 400 m.s.n.m. sugerido por Schlatter et al. (1982). Esto se explica debido a que sobre cierta elevación, se encuentran condiciones mas severas en cuanto a duración del día, temperaturas, pluviometría, entre otras.

Tabla 8. Altitud (m.s.n.m.) por serie de suelo.

VALORES	C Q	ET
# Muestras	9	24
Minimo	150	90
Maximo	325	700
Promedio	239	314
Desv. est.	60	180

4.3 Propiedades químicas.

4.3.1 Reacción del suelo (pH). El pH del grupo de suelos varía entre 5,00 y 7,00 con un promedio que va desde 5,71, hasta 5,80 en el primer y tercer estrato respectivamente, notándose una muy leve tendencia a aumentar con la profundidad. A nivel de series, se distingue un menor rango de variación en la serie CQ, fluctuando entre 5,50 a 6,72 con un promedio de 5,98 a 6,10 en el primer y tercer estrato respectivamente. La serie ET presenta un rango un poco más amplio que la CQ, variando entre 4,97 y 7,10, con promedios entre 5,64 y 5,70.

Tabla 9. Valores de pH, por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Minimo	5.50	4.97	5.50	5.06	5.57	4.99
Maximo	6.57	6.75	6.60	7.10	6.72	7.00
Promedio	5.98	5.64	6.00	5.70	6.10	5.70
Desv. est.	0.33	0.37	0.35	0.43	0.41	0.46

Según Francke (1988), Francke et al. (1988) y Schlatter (1977), en Chile para el cultivo del pino se recomiendan valores de pH entre 5 y 6, para lograr un buen desarrollo. Suelos más ácidos o más alcalinos afectan negativamente el crecimiento de los árboles. Un suelo muy ácido puede bajar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio e incrementar el aluminio y manganeso solubles; estos dos últimos son tóxicos para las plantas, cuando sus concentraciones exceden de ciertos límites.

4.3.2 Materia orgánica. La materia orgánica en el grupo de suelos graníticos, presenta una clara tendencia a disminuir en profundidad, desde 2,74% en el primer estrato a 1,17% en el tercero, con un rango de variación que va desde 0,16% a 9,6%, ambos valores en el tercer estrato.

A nivel de series de suelo, la serie CQ presenta contenidos promedios más bajos que la serie ET, manteniéndose la tendencia a disminuir con la profundidad. El valor medio en la serie CQ va desde 1,78% en el primer estrato, a 0,81% en el tercero. En la serie ET el promedio es de 3,05% en el primero y de 1,28% en el tercero.

Tabla 10. Contenido de Materia Orgánica (%), por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	CQ	ET	CQ	ET	CQ	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	0.29	0.45	0.45	0.23	0.16	0.23
Máximo	4.54	7.81	3.49	5.77	2.37	9.60
Promedio	1.78	3.05	1.20	1.67	0.81	1.28
Desv. est.	1.08	1.70	0.72	1.16	0.58	1.69

En general, el contenido de materia orgánica en el suelo es baja, siendo alrededor de 3 a 5% del peso seco de un suelo, encontrándose principalmente en el horizonte superficial, decreciendo en los estratos inferiores (Brady, 1984; Daniel et al., 1982).

En relación a la influencia de la materia orgánica sobre las características físicas de los suelos, varios autores coinciden que a mayor contenido de ésta, existe una disminución de la densidad aparente, densidad real, un aumento de los espacios porosos y una mejoría de la estructura. Esta influencia mejora el régimen hídrico del suelo al favorecer la infiltración, y la capacidad de retención, generando una mayor capacidad de retención de agua aprovechable para las plantas. No menos importante es la influencia de ella sobre las propiedades químicas de los suelos siendo que es la mayor fuente de elementos minerales como fósforo y azufre, y particularmente, la única fuente de nitrógeno. Además, es fuente de energía para los microorganismos del suelo, y sin ella la actividad bioquímica sería prácticamente nula (Brady, 1984; Daniel et al., 1982; Donoso, 1981; Pritchett, 1979).

4.3.3 Nitrógeno. El nitrógeno total, al igual que la materia orgánica, muestra una tendencia a disminuir con la profundidad, encontrándose valores medios, para el grupo, que van desde 0,10% en el primer estrato hasta 0,05% en el tercero, con un rango de variación entre 0,01% a 0,47%. En cada serie se presenta la misma tendencia a disminuir con la profundidad, siendo los valores medios, similares en ambas series de suelo.

Tabla 11. Contenido de Nitrógeno total (%), por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.008
Máximo	0.150	0.470	0.120	0.280	0.090	0.220
Promedio	0.071	0.107	0.056	0.071	0.043	0.045
Desv. est.	0.035	0.078	0.027	0.049	0.025	0.032

4.3.4 Fósforo. El contenido de fósforo del grupo de suelos, presenta un rango de variación bastante amplio que va desde 1 ppm. hasta 200 ppm., con valores medios entre 16,88 ppm. en el primer estrato, hasta 14,93 ppm. en el tercero.

La serie ET presenta un mayor contenido de fósforo que la serie CQ en los tres estratos. La serie ET va desde 18,97 ppm. en el primero hasta 17,90 ppm. en el segundo, mientras que en la serie CQ la media va desde 9,91 ppm. en el primero hasta 6,14 ppm. en el tercero.

Tabla 12. Contenido de Fósforo (ppm), por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	1.00	1,00	1.00	1.00	1.00	1.00
Máximo	24.60	200,00	13.80	197.40	12.50	152.00
Promedio	9.91	18,97	7.20	17.87	6.14	17.90
Desv. est.	5.80	26,39	4.01	30.89	3.63	30.98

4.3.5 Potasio. El contenido promedio de potasio en el grupo de suelos es homogéneo a través del perfil, con valores entre 0,26 a 0,22 m. eq/100 g. de suelo. A nivel de series se nota un valor levemente superior en la serie ET que alcanza a 0,27 m. eq/100g. de suelo en el primer estrato, con un rango de variación que entre 0.05 a 1,60 m. eq/100 g. de suelo.

Tabla 13. Contenido de Potasio (m. eq./100 gr de suelo), por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	CQ	ET	CQ	ET	CQ	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	0.02	0.10	0.08	0.05	0.06	0.05
Máximo	0.37	0.67	0.46	0.18	0.26	1.60
Promedio	0.25	0.27	0.20	0.27	0.16	0.23
Desv. est.	0.09	0.14	0.09	0.25	0.06	0.24

4.3.6 Calcio. El promedio de contenido de calcio oscila entre 2,58 a 2,21 m. eq/100 g. de suelo para el grupo, con un rango de variación entre 0,16 a 11,00 m. eq/100 g. de suelo.

En ambas series el contenido de calcio es homogéneo en todo el perfil, notándose un poco más alto en la serie CQ, con promedios sobre 3,25 m. eq/100 g. de suelo en los tres estratos, comparados con valores de la serie ET que no superan los 2,40 m. eq/100 g. de suelo en todo el perfil.

Tabla 14. Contenido de Calcio (m.eq./100 gr de suelo), por serie de suelo y por estratos.

ESTRATO	0 - 30 CM.		30 - 60 CM.		60 - 90 CM.	
	C Q	ET	C Q	ET	C Q	ET
# Muestras	23	72	23	69	22	63
Mínimo	1.07	0.17	0.88	0.16	0.88	0.17
Máximo	4.69	9.16	10.13	10.90	5.29	11.00
Promedio	3.29	2.32	3.65	2.19	3.53	1.80
Desv. est.	1.07	1.87	1.82	2.14	1.32	1.00

4.4 El Índice de Sitio para el Grupo de Suelos Graníticos y su Relación con las Variables de Suelo.

Las relaciones analizadas corresponden a nivel de grupo de suelos graníticos, donde se relaciona el índice de sitio con las variables físicas, químicas y la altitud, para los dos primeros estrato considerados en este estudio (0-30 cm. y 30-60 cm.). Los coeficientes de correlación o matriz de Pearson para cada una de las variables con el IS en los tres estratos, son entregados en apéndice N° 2.

Al observar ésta matriz de correlación, podemos ver que ninguna variable presenta un valor de correlación superior a $R = 0.50$, lo que nos indica que ninguna de ellas en forma individual está altamente correlacionada con el IS para el Pino radiata.

4.4.1 Textura del suelo.

4.4.1.1 Arena. El contenido de arena (%), muestra una tendencia en el sentido que al aumentar, también aumenta el índice de sitio, con coeficientes de correlación similares en

los dos primeros estratos (0,265 y 0,278 respectivamente), tendencia que se acentúa a medida que el porcentaje de arena sobrepasa el 40%. Para ambos estratos, se observa que los mayores índices de sitio se encuentran en un rango de contenido de arena que va desde un 20% a un 60%.

4.4.1.2 Limo. El limo presenta un relación inversamente proporcional al índice de sitio, con valores de coeficiente de correlación de -0,349 y -0,323 (primer y segundo estrato respectivamente), lo que indica que a partir de cierto contenido de limo, el índice de sitio tiende a bajar. El rango donde se presentan los mayores índices de sitio varía entre un 15 a un 30% de limo, decreciendo considerablemente el potencial productivo con valores mayores.

4.4.1.3 Arcilla. El contenido de arcilla, no presenta una clara tendencia con respecto al índice de sitio, lo que se ve reflejado en sus bajos coeficientes de correlación (0,074 y 0,037 en primer y segundo estrato respectivamente).

4.4.1.4 Esqueleto. Al igual que en el contenido de arcilla, el esqueleto no presenta una clara tendencia respecto a la calidad de sitio, ya que sus coeficientes de correlación son bajos (-0,132 y 0,143 en primer y segundo estrato). Lo que sí se observa es que los mayores índices de sitio se encuentran en contenidos de esqueleto entre 0 y 20%, no siendo muy claro su efecto.

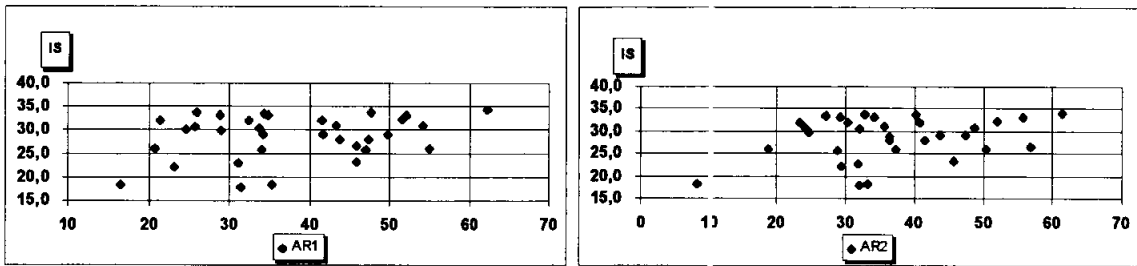


Figura 2. Correlación entre el contenido de Arena (%) y el índice de sitio (m).

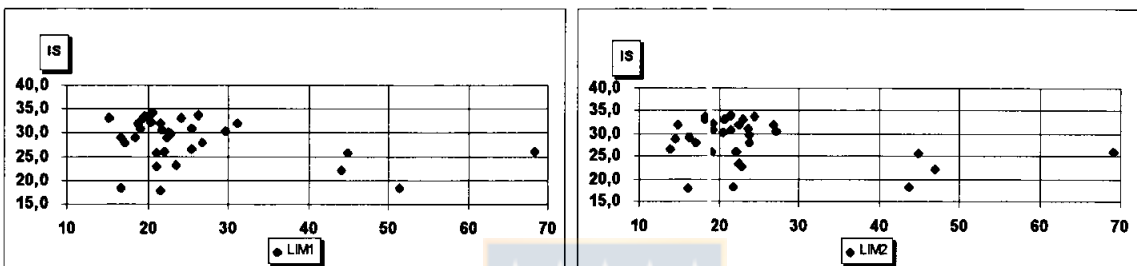


Figura 3. Correlación entre el contenido de Limo (%) y el índice de sitio (m).

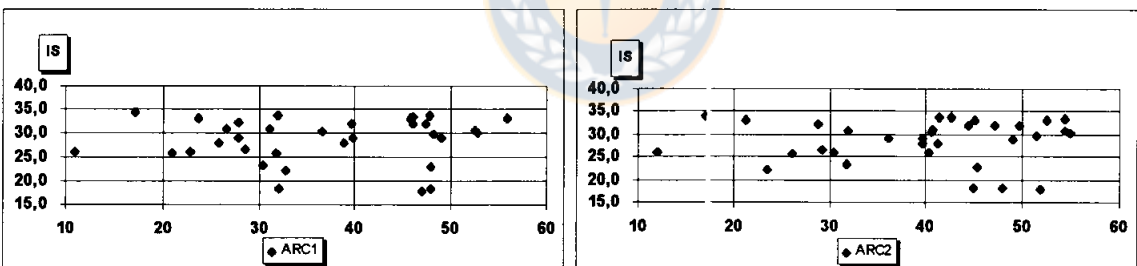


Figura 4. Correlación entre el contenido de Arcilla (%) y el índice de sitio (m).

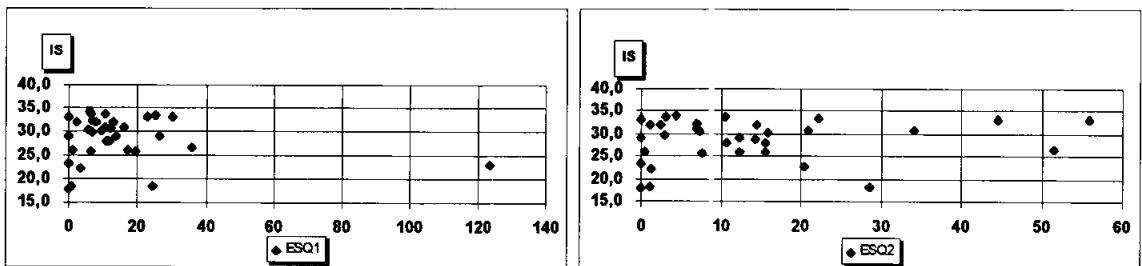


Figura 5. Correlación entre el contenido de Esqueleto (%) y el índice de sitio(m).

4.4.2 Contenido de Humedad del Suelo.

4.4.2.1 Capacidad de campo. Se ha encontrado una tendencia inversamente proporcional entre el índice de sitio y el contenido de humedad a CC. A medida que la CC aumenta, el índice de sitio tiende a disminuir (sus coeficientes de correlación son $-0,261$ y $-0,353$ en el primer y segundo estrato respectivamente). Los mejores sitios se encuentran en un rango entre un 15% y un 30% de capacidad de campo.

4.4.2.2 Punto de marchitez permanente. Al igual que a CC, el contenido de humedad en el PMP presenta una relación inversa con el índice de sitio, encontrándose los mayores valores de sitio entre 5% y 20% de EMP (los coeficientes son $-0,280$ y $-0,440$ para el primer y segundo estrato).

4.4.2.3 Agua disponible. No presenta una clara tendencia (Coeficiente de correlación de $-0,027$ y $0,160$), observándose, eso sí un aumento del índice de sitio sobre los 250 m³/ha.

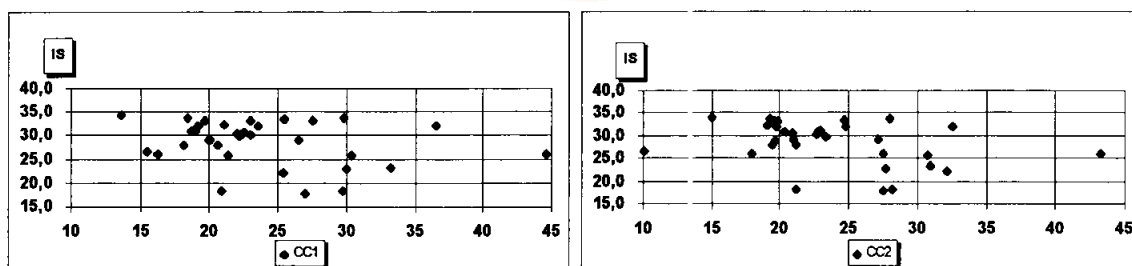


Figura 6. Correlación entre la Capacidad de Campo (%) y el Índice de sitio (m).

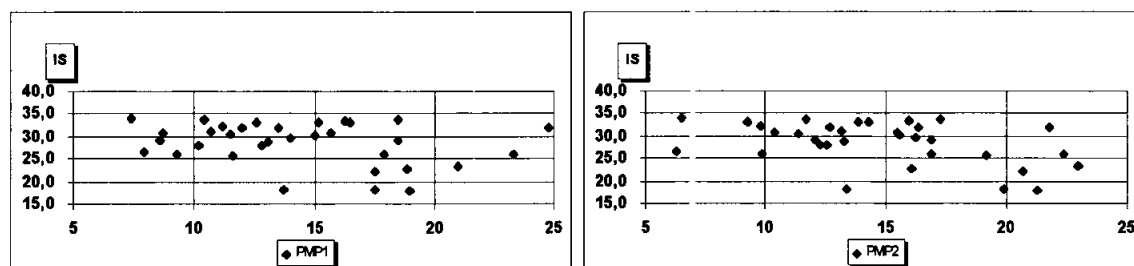


Figura 7. Correlación entre el Punto de Marchitez Permanente (%) y el Índice de sitio (m).

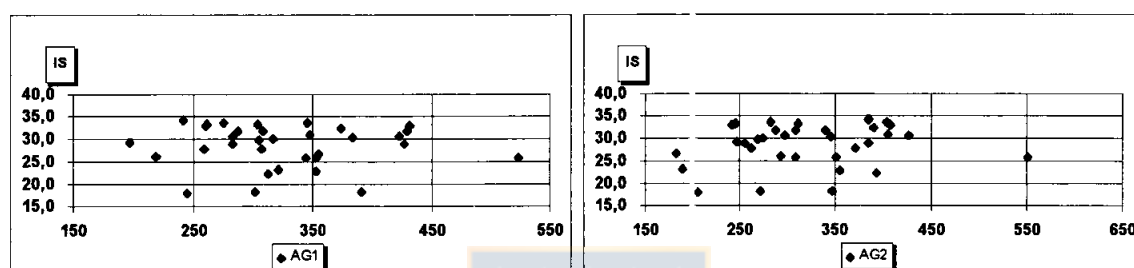


Figura 8. Correlación entre el contenido de Agua Disponible (m³/ha) y el Índice de sitio (m).

En general se aprecia un comportamiento errático del IS en relación al contenido de humedad en los primeros 60 cm. analizados aquí.

4.4.3 La porosidad del suelo.

4.4.3.1 Porosidad capilar. No se observa una clara tendencia, pero se aprecia que los mayores índices de sitio se encuentran cuando la porosidad capilar varía entre 20% y 30% (coeficiente de correlación $-0,261$ y $-0,353$ en primer y segundo estrato).

4.4.3.2 Porosidad no capilar. La relación es menos clara que en la porosidad capilar, debido a que tiene coeficientes de correlación menores ($0,046$ y $-0,129$ respectivamente). En

el rango entre 25 y 35% se observan los mayores índices de sitio.

4.4.3.3 Porosidad total. Tampoco se observa una clara tendencia, pero se desprende que los mejores índices de sitio se encuentran entre 45 y 60% (coeficiente de correlación - 0,199 y -0,354 en primer y segundo estrato respectivamente).

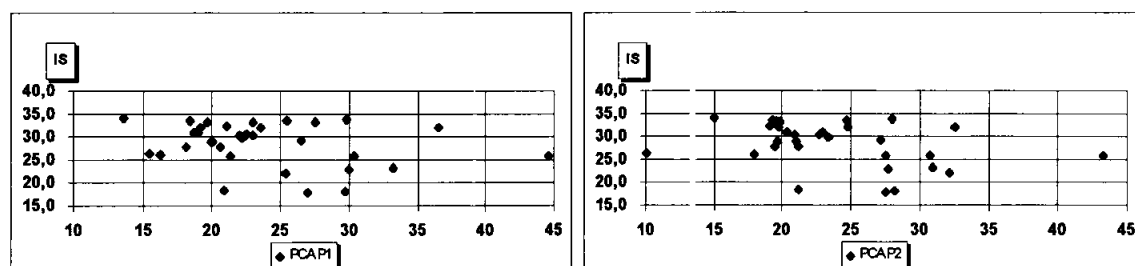


Figura 9. Correlación entre la Porosidad Capilar (%) y el Índice de sitio (m).

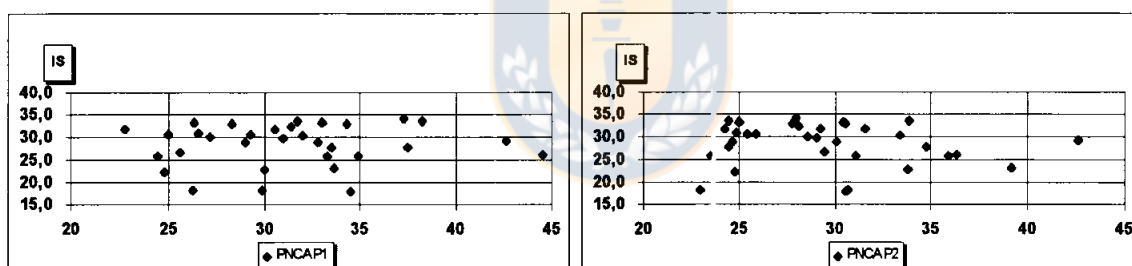


Figura 10. Correlación entre la Porosidad no Capilar (%) y el Índice de sitio (m).

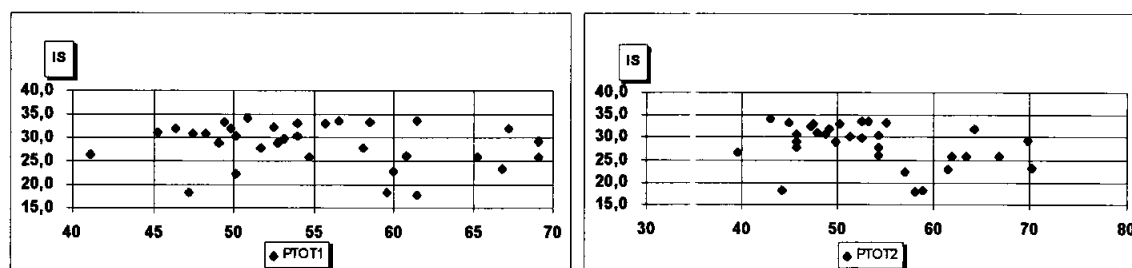


Figura 11. Correlación entre la Porosidad Total (%) y el índice de sitio (m).

4.4.4 Densidad aparente. Los mejores índices de sitio se encuentran entre el rango de 1,1 y 1,5 gr./cc de densidad aparente, no encontrándose una clara relación (coeficiente de correlación de 0,199 y 0,354).

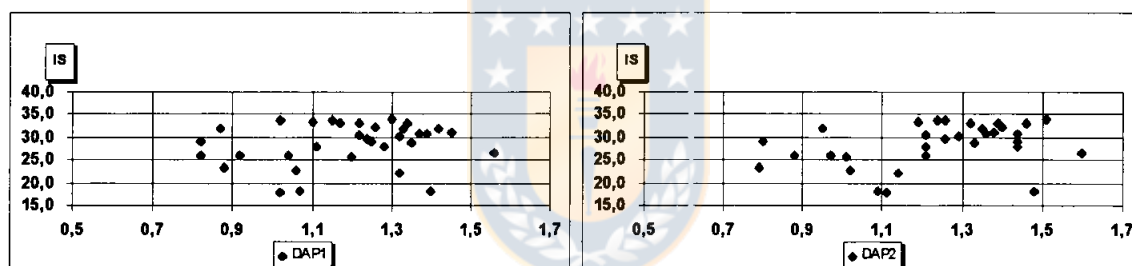


Figura 12. Correlación entre la Densidad Aparente (gr/cc) y el índice de sitio (m).

4.4.5 Altitud. Entre los 0 y 400 m.s.n.m., no se observa ninguna tendencia, pero sobre los 400 se nota claramente una disminución en el índice de sitio (coeficiente de correlación de -0,402).

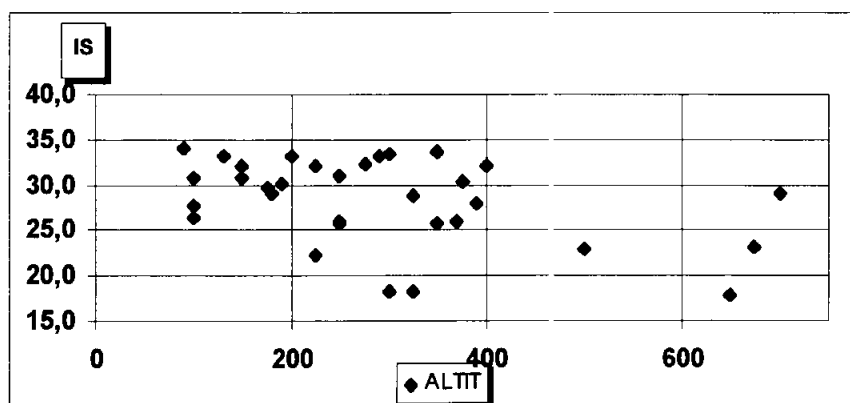


Figura 13. Correlación entre la Altitud (m.s.n.m.) y el Índice de sitio (m).

4.4.6 Propiedades químicas.

4.4.6.1 pH. Se nota una tendencia a decrecer el índice de sitio, a medida que el pH aumenta, incluso llegando a índices de sitio cercanos a 15 metros cuando el pH supera los 6,5. Los coeficientes de correlación son $-0,354$ para el primer estrato y $-0,297$ para el segundo.

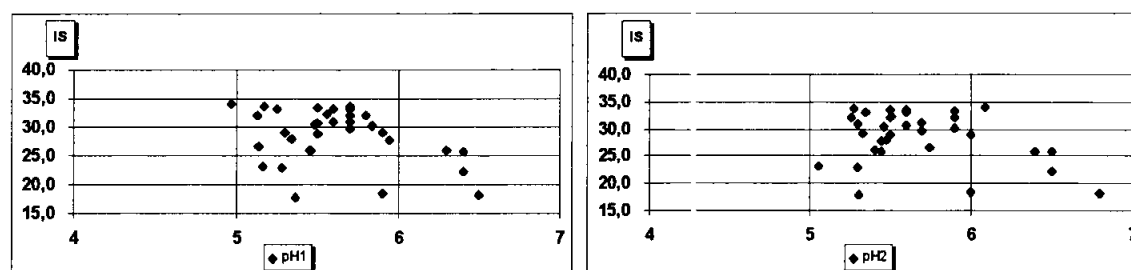


Figura 14. Correlación entre el pH y el Índice de sitio (m).

4.4.6.2 Materia orgánica. Con coeficientes de correlación de $-0,145$ y $-0,156$, no muestra una clara tendencia, observándose los mejores índices de sitio entre 1% y 4% de materia orgánica.

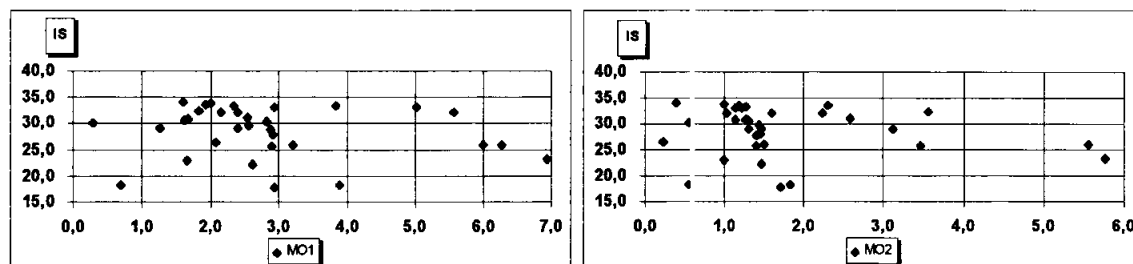


Figura 15. Correlación entre el contenido de Materia Orgánica (%) y el Índice de sitio (m).

4.4.6.3 Nitrógeno. Con valores de correlación muy bajos ($-0,099$ y $-0,168$), no se ve una tendencia con respecto al índice de sitio.

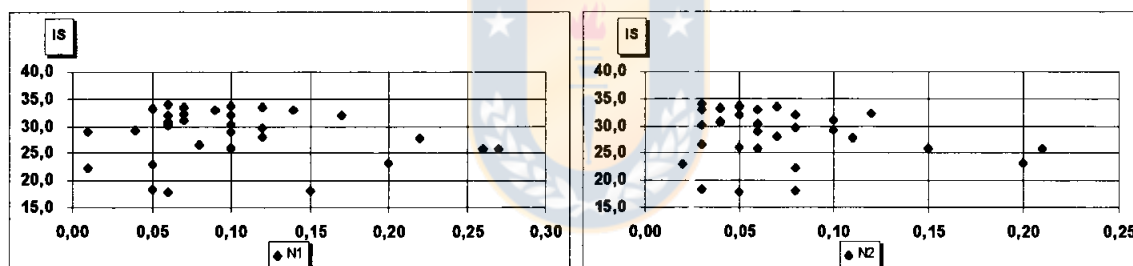


Figura 16. Correlación entre el contenido de Nitrógeno (%) y el Índice de sitio (m).

4.4.6.4 Fósforo. Solamente en el primer estrato presenta una buena correlación inversa con el índice de sitio (coeficiente de correlación $-0,448$). En el segundo estrato el coeficiente es muy bajo ($-0,050$), lo que se corrobora al observar la figura 17, que no presenta ninguna tendencia.

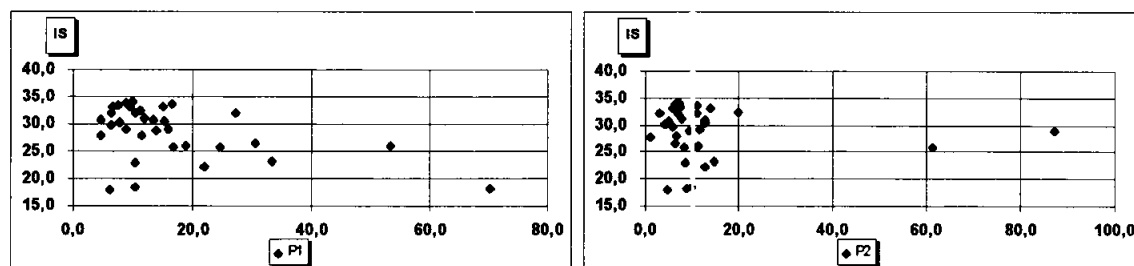


Figura 17. Correlación entre el contenido de Fósforo (ppm) y el Índice de sitio (m).

4.4.6.5 Potasio. Se observa una tendencia a aumentar el índice de sitio, a medida que aumenta el contenido de potasio. Los coeficientes de correlación son de 0,335 y 0,260 para el primer y segundo estrato respectivamente.

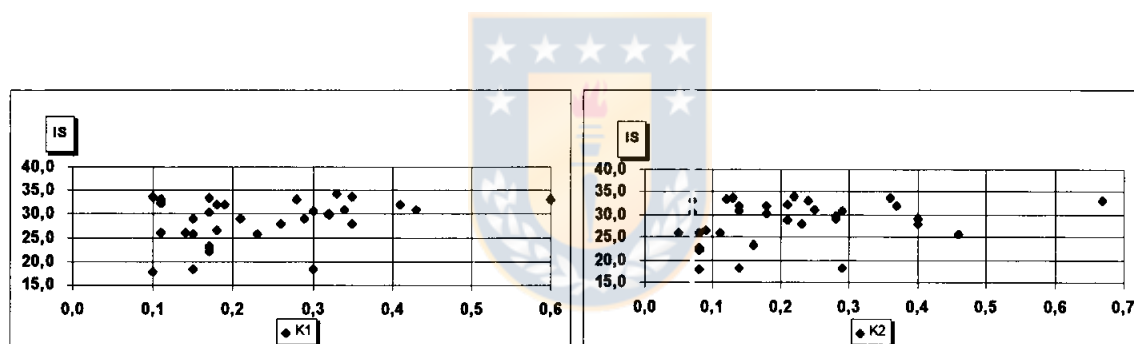


Figura 18. Correlación entre el contenido de Potasio (m.eq./100gr de suelo) y el Índice de sitio (m).

4.4.6.6 Calcio. El índice de sitio tiende a aumentar hasta un contenido de calcio igual a 2, con valores superiores, se nota una tendencia a la baja ($R = -0,026$ y $-0,007$).

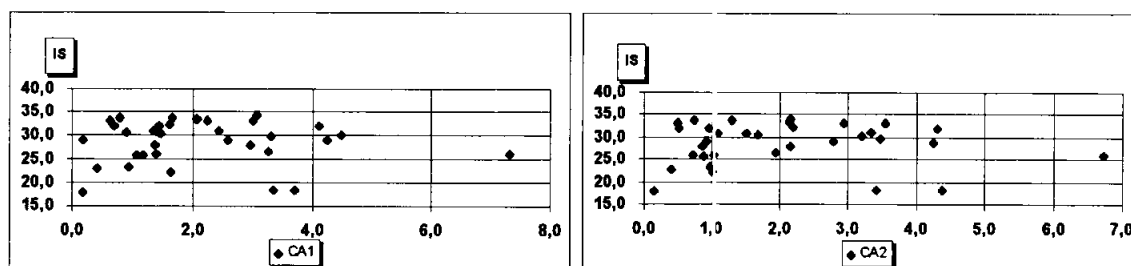


Figura 19. Correlación entre el contenido de Calcio (m.eq./100 gr de suelo) y el índice de sitio (m).

Como resumen general, no se aprecian correlaciones claras entre el índice de sitio y cada una de las variables individualmente analizadas, ya que sólo la altitud, el contenido de fósforo del primer estrato y el punto de marchitez permanente de segundo estrato, tienen coeficientes de correlación superiores a 0,4.

Lo anterior no significa que las variables estudiadas no intervengan en la determinación del índice de sitio, sino que en forma individual no lo hacen, pero al realizar combinaciones entre ellas se pueden obtener mejores resultados, como se verá en el siguiente punto.

4.5 Estimación del índice de sitio a partir de combinaciones de variables de suelo.

Mediante regresiones Step Wise (paso a paso), se determinaron las variables de sitio (variables independientes), que mejor explican el índice de sitio (variable dependiente). Para lograr esto, se incluyeron todas los factores de sitio en estudio, con la finalidad de encontrar a aquella o aquellas que explican de mejor forma la variable de interés (IS) para el área de estudio.

Como se dijo al describir la metodología, para cada variable independiente y para la dependiente, también se consideraron transformaciones a logaritmo natural ($\ln X$), el cuadrado de la variable (X^2), el valor recíproco ($1/X$) y el recíproco del cuadrado ($1/(X^2)$). Este análisis se realizó tanto para el grupo de suelos graníticos, como para las series San Esteban y Cauquenes.

4.5.1 Grupo de suelos Graníticos. Para el grupo de suelos graníticos, se encontró una ecuación múltiple, que explica un 61,1% de la variación del índice de sitio con un error de 2,931 metros y con un nivel de significancia al 1% ($n = 33$).

A continuación se presenta la ecuación, con los respectivos coeficientes, que estiman el índice de sitio a partir de las variables de suelo seleccionadas en este modelo (ver apéndice N° 3).

$$IS = 54,754 - 0,015 * Alt - 0,483 * pH12 - 0,002 * P12 + \\ 139,402 * 1Ar1 - 0,063 * Esq1 - 0,020 * Pmp22 \\ - 13,347 * Dap2Ln - 0,015 * 1k32.$$

Donde :

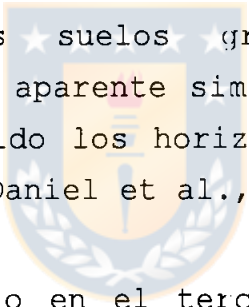
- IS = Índice de sitio.
- Alt = Altitud en m.s.n.m..
- pH12 = pH del primer estrato al cuadrado.
- P12 = Fósforo del primer estrato al cuadrado.
- 1Ar1 = Recíproco de arena del primer estrato.
- Esq1 = Esqueleto del primer estrato.
- PMP22= Punto de marchitez permanente del segundo estrato al cuadrado.

Dap2Ln= Log. natural de la densidad aparente del segundo estrato.

1K32 = Recíproco de potasio del tercer estrato al cuadrado.

Las variables que explican este 61,1% son :

- La altitud juega un papel importante ya que una variación en ésta , está asociada a factores tales como la duración del periodo de crecimiento, la radiación, la precipitación y la temperatura, entre otros. Este resultado corrobora lo indicado por Steinbrenner (1968) y Brown et al. (1978), quienes encontraron una relación entre el índice de sitio y la altitud.
- El pH del primer estrato constituye un excelente indicador de lo relacionado con la parte química de los suelos, por estar estrechamente relacionado con la nutrición forestal. Pritchett (1979), afirma que un aspecto secundario de una reacción muy ácida, es que puede bajar la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio y aumentar los niveles de aluminio y manganeso solubles. Varios autores coinciden en que el pH es un indicador más de la calidad de sitio, ya que el grado de acidez refleja la dinámica química del suelo (Russell, 1959; Black, 1975; citados por Hidalgo, 1980).
- El fósforo del primer estrato, dada su importancia en procesos vitales para la planta. Además, por estar presente en formas o compuestos no asimilables por las plantas, lo que lo hace doblemente crítico.

- El contenido de arena y esqueleto del primer estrato dado que permite un buen intercambio gaseoso con la atmósfera, al facilitar la aireación del suelo.
- El punto de marchitez permanente del segundo estrato, por la influencia que ejerce sobre la retención de agua para las plantas.
- La densidad aparente del suelo en el segundo estrato por su influencia en la porosidad, la aireación, el drenaje y la penetración de las raíces, lo que se traduce en un buen o mal desarrollo de los árboles. En general, los horizontes superficiales poseen densidades inferiores a los profundos, debido a un mayor contenido de materia orgánica. Esto es representado por los  suelos graníticos, los cuales presentan una densidad aparente similar en todo el perfil, debido a que han perdido los horizontes superficiales por efecto de la erosión (Daniel et al., 1982).
- El contenido de potasio en el tercer estrato, ya que una deficiencia de este elemento provoca acortamiento de los tallos, presentando las plantas con un aspecto achaparrado, adquiriendo un color tostado y la muerte total o parcial de los tejidos foliares (Black, 1975 citado por Hidalgo, 1980).
- En general, se aprecia la importancia de la altitud en el potencial productivo de un sitio, por ser una variable fisiográfica que influye negativamente sobre el índice de sitio cuando sobrepasa un cierto nivel, que según Schlatter et al. (1982) señala como máximo los 400 m.s.n.m.. Para altitudes superiores se recomienda no considerar al pino

como una alternativa para forestar, sino que pensar en una especie distinta, que se adapte a estas condiciones.

- Otro factor de mucha importancia lo constituyen las características del suelo que dicen relación con el régimen hídrico, lo que evidencia que en éste campo se deben aplicar medidas silviculturales con el objeto de mejorar el potencial productivo, realizando labores tendientes a mejorar la capacidad de infiltración y retención del agua, probablemente al considerar una preparación de sitio previa al establecimiento de una cubierta forestal y desechar en forma definitiva la quema como actividad silvicultural por lo dañina que resulta para la compactación y la eliminación de la materia orgánica.

4.5.2 Serie de suelos San Esteban. Para la serie de suelos San Esteban, se encontró una ecuación múltiple, que explica un 75,2% de la variación del índice de sitio, con un error de 2,340 metros y significativa al 1% (n = 24 muestras).

A continuación se muestra la ecuación, con los respectivos coeficientes, que estiman el índice de sitio en base a las variables seleccionadas (ver apéndice N° 4).

$$IS = 24,378 - 0,002 * P12 + 2,369 * Mo1Ln - 0,010 * PMP22 - 2,003 * Mo3Ln - 0,016 * 1K32 + 0,020 * AG3$$

Donde :

IS = Índice de sitio.

P12 = Fósforo del primer estrato al cuadrado.

Mo1Ln= Log. natural de la materia orgánica del primer estrato.

- PMP22= Punto de marchitez permanente del segundo estrato al cuadrado.
- Mo3Ln= Log. natural de la materia orgánica del tercer estrato.
- 1K32 = Recíproco del potasio del tercer estrato al cuadrado.
- Ag3 = Agua disponible del tercer estrato.

Las variables seleccionadas para explicar el índice de sitio son :

- El contenido de fósforo del primer estrato, por ser necesario en todos los procesos vitales en la vida de los vegetales, como ocurre con la fotosíntesis, la síntesis y descomposición de los carbohidratos y la transferencia de energía dentro de la planta (Daniel et al., 1982).
- El punto de marchitez permanente del segundo estrato, por su importancia en el régimen hídrico del suelo y disponibilidad de agua para las plantas.
- El contenido de potasio del tercer estrato, que juega un rol importante en el crecimiento aéreo y radicular, en la neutralización de ácidos orgánicos e interviene en el metabolismo de carbohidratos y proteínas (Daniel et al., 1982).
- El contenido de materia orgánica del primer y tercer estrato, por su gran e importante influencia sobre las características físicas del suelo. Varios autores coinciden en señalar que a un mayor contenido de ésta, existe una disminución de la densidad aparente, un aumento de los espacios porosos y una mejoría de la estructura.

Esta influencia mejora el régimen hídrico del suelo al tener una mayor capacidad de retención de agua, mejora la infiltración y por lo tanto una mejor capacidad de agua aprovechable para las plantas. No menos importante es la influencia de ella sobre las propiedades químicas de los suelos, siendo la mayor fuente de elementos minerales como el fósforo y azufre, y esencialmente la única de nitrógeno. Además, es fuente de energía para los microorganismos del suelo, y sin ella la actividad bioquímica sería prácticamente nula (Brady, 1984; Daniel et al., 1982; Donoso, 1981; Pritchett, 1979).

- El agua disponible del tercer estrato, por la gran importancia que tiene el régimen hídrico del suelo sobre el buen desarrollo de las plantas.

Al igual que el grupo granítico, en la serie San Esteban el IS se explica con variables de suelo relacionadas a la disponibilidad de agua, para estimar el índice de sitio. Esto evidencia la necesidad de destinar esfuerzos para mejorar ésta propiedad y así lograr mejores productividades y una mejor utilización del recurso suelo.

4.5.3 Serie de suelos Cauquenes. Para la serie de suelos Cauquenes se encontró una ecuación múltiple, que explica un 77,4% de la variación del índice de sitio, con un error de 1,10 metros y con una significancia al 2% (n = 9 muestras).

A continuación se entrega la ecuación con los coeficientes para estimar el índice de sitio en base a las variables seleccionadas (ver apéndice N° 5).

$$\text{Ln IS} = -0,528 + 0,982 \cdot \text{AR3Ln} + 0,0001 \cdot \text{ARC32} + 150,139 \cdot \text{1PMP32} + 0,032 \cdot \text{PNCAP3}$$

Donde :

Ln IS	=	Logaritmo natural del Índice de sitio.
AR3Ln	=	Log. natural de la arena del tercer estrato.
ARC32	=	Contenido de arcilla en el tercer estrato al cuadrado.
1PMP32	=	Recíproco del punto de marchitez permanente del tercer estrato al cuadrado
PNCAP3	=	Porosidad no capilar del tercer estrato.

En esta ecuación, la variable dependiente es el índice de sitio como logaritmo natural (Ln), por lo que el error también se debe tratar de la misma forma.

Las variables consideradas en esta ecuación son las siguientes :

- Contenido de arena y arcilla en el tercer estrato, por su alta incidencia en el suministro de agua y nutrientes para las plantas y por estar fuertemente ligada a la oxigenación y la compactación del suelo (Donoso, 1981; Daniel et al., 1982). Jokela et al., (1988); Mader, (1976); Schlatter et al., (1982); Francke, (1988); y Francke et al., (1988) entre otros, en trabajos realizados acerca de la productividad de los bosques en base a variables edáficas concuerdan en concluir que la textura juega un rol fundamental en la calidad del sitio.

- Punto de marchitez permanente en el tercer estrato, por el rol que juega en la disponibilidad de agua para las plantas, que se almacena durante el periodo de lluvias para utilizarse durante épocas de sequía (Daniel et al., 1982; Brady, 1984; Pritchett, 1979).
- La porosidad no capilar en el tercer estrato, por su importancia en la aireación, el drenaje del suelo y por su gran importancia en la capacidad de retención de agua disponible para las plantas (Donoso, 1981). Schlatter et al. (1982), demuestran que el volumen de poros presenta una sucesión positiva, casi rectilínea y muy significativa con el índice de sitio.

Todas estas variables consideradas en esta ecuación, están íntimamente relacionadas con el régimen hídrico del suelo, pues, éstas constituyen en la práctica el factor más importante para el desarrollo de las plantas. Brady (1984), indica que el agua almacenada en el suelo cumple con las funciones de disolver los elementos nutritivos y transportarlos para cubrir los requerimientos vegetales y controlar la temperatura del suelo.

A continuación, en la Tabla 15 se muestra un resumen de las variables consideradas en las tres ecuaciones entregadas anteriormente:

Tabla 15. Variables de suelo usadas en las ecuaciones de regresión.

VARIABLE	GRUPO SUELOS	SERIE IT	SERIE CQ
Altitud	X		
pH	X		
Fósforo	X	X	
Arcilla			X
Arena	X		X
Esqueleto	X		
PMP	X	X	X
Dens. Aparente	X		
Potasio	X	X	
Mat. Orgánica		XX	
Porosidad No Cap.			X
Agua Disp.		X	

Si bien es cierto que tanto a nivel de grupo, como de series, se obtuvieron coeficientes de determinación (R^2) bastante buenos, también es cierto que por tratarse de muestras pequeñas (especialmente la serie CQ), los resultados pueden tener poco significado. Lo ideal es partir conociendo el valor de R^2 que queremos obtener, y en base a esto determinar el tamaño óptimo de la muestra, que nos entregará los resultados que esperamos.

En este estudio no se siguió esta metodología, pues se trabajó con datos ya tomados y que estaban enmarcados en un proyecto mucho más general, por lo que dicha cantidad de datos era lo suficiente para lograr sus objetivos..

Sin embargo, este trabajo nos permite conocer la orientación de los esfuerzos, tendientes a lograr mejores productividades en los suelos, con un adecuado manejo silvicultural para así utilizar al máximo la potencialidad del sitio.

V CONCLUSIONES.

- El índice de sitio promedio para el pino radiata en el grupo de suelos graníticos de la vertiente oriental de la cordillera de la costa de la Octava Región, es de 27,82 metros a una edad clave de 20 años. Para la serie Cauquenes (CQ), éste valor es de 27,90 y de 27,80 para la serie San Esteban (ET). Desde el punto de vista de la productividad para el pino radiata, ambas series entregan valores muy similares de IS, así como también de la caracterización cuantitativa hecha para ambas series, diferenciándose sólo en la topografía y en la posición ocupada respecto a la altitud .
- A nivel de grupo de suelos, no se aprecia una clara correlación entre el índice de sitio, y cada una de las variables estudiadas. Sólo la altitud, el contenido de fósforo en el primer estrato y el punto de marchitez permanente del segundo estrato, mostraron un coeficiente de correlación (R) mayor a 0.4. Lo anterior no significa que las variables estudiadas no estén correlacionadas con el IS, sino que a nivel individual no explican las variaciones debido a que se trata de un "sistema" en que todas, de alguna u otra forma, interactúan para determinar la potencialidad del sitio.
- Al considerar más de una variable a la vez, las tres ecuaciones obtenidas entregan porcentajes de explicación del IS superiores al 60%, con errores no superiores a 3 metros, y significativas al 2%.

- De las regresiones paso a paso realizadas, se obtuvieron ecuaciones que permiten predecir el potencial del sitio para el pino radiata. Estas predicciones son sólo aproximadas debido a que las ecuaciones fueron elaboradas con pocas muestras, lo que puede inducir a resultados matemáticamente erráticos, pero que para orientar medidas para futuras prácticas silviculturales, nos entregan un muy buen camino a seguir, para asignar distintos esquemas de manejo y por lo tanto distintos niveles de inversión en las plantaciones.
- En general, estas ecuaciones nos indican que las variables con mayor incidencia en el IS, están referidas al régimen hídrico del suelo, por lo que es necesario apuntar hacia allí los esfuerzos para manejar y mejorar las condiciones, tal vez desechando en forma definitiva las quemas como labor de preparación de sitios, dado su efecto negativo sobre el aprovechamiento del agua de lluvia.
- Se recomienda optar por otras especies forestales para ser establecidas sobre los 400 m.s.n.m., ya que se observa claramente que sobre éste nivel, el IS baja considerablemente en este tipo de suelos, especialmente en la serie San Esteban (ET), que se ubica en una posición más alta en relación a la Cauquenes (CQ). Esto concuerda con lo sugerido por Schalatter et al. (1982).
- Según los resultados del análisis estadístico de la estimación del IS, a partir de las combinaciones de variables medioambientales, se obtienen mejores resultados cuando la estimación se realiza a nivel de series, que cuando se realiza a nivel de grupo de suelos, y

probablemente estos serían mejores si se trabajara a nivel de fases.

- Este método ayuda en forma importante a orientar la compra de predios por parte de las empresas y a determinar futuros esquemas de manejo para las plantaciones de pino que se establecerán allí (podas, raleos, fertilizaciones).



VI RESUMEN

El presente trabajo se basa en información del proyecto " Suelos forestales de la VIII Región " (Carrasco y Millán, 1990). Se obtuvo así una amplia fuente de datos de suelos, que constituye una importante información para identificar los factores de sitio que tienen mayor incidencia en el Índice de Sitio del Pinus radiata D. Don, en suelos graníticos de la VIII Región.

Se analiza el efecto de las variables físicas y químicas del suelo y la altitud, sobre el comportamiento del IS del pino, tanto para el grupo de suelos graníticos, como de las series San Esteban y Cauquenes.

Se encontró, que en general las variables usadas no presentan una correlación significativa con el comportamiento del IS en forma individual, pero en la medida que se selecciona un grupo de ellas mediante regresiones Step Wise, los resultados son satisfactorios, sobre todo si se trabaja a nivel de series de suelo, encontrándose coeficientes de determinación (R^2) superiores a 75% y errores (EEE) menores a 2,5 metros.

Se entregan modelos matemáticos para estimar el IS en base a factores de suelo, para cada una de las series y para el grupo de suelos.



SUMMARY

This paper utilizes information from the project " Suelos forestales de la VIII Región " (Carrasco y Millán, 1990). A wide range of data was thus obtained, constituting important information in order to identify the site factors which have the greatest importance in Site Index for Pinus radiata D. Don, in granitic soils of the region.

The effect of the physical and chemical variables of the soil and altitude are analyzed to explain the IS behavior of pine, for the group of granitic soils as well as for the San Esteban and Cauquenes series.

It was found that, in general, the variables used did not show a significant correlation between the IS behavior on an individual basis but, when a group of variables are selected through step wise regressions, the results are satisfactory, above all if they are chosen according to soil series, resulting in determination coefficients (R^2) above 75% and errors (EEE) below 2,5 meters.

Mathematical models are presented to estimate the IS on the basis of soil factors for each one of the series and for the soil group.



VII BIBLIOGRAFIA

- 1.Arteaga, B. 1983. Influencia del suelo y las características fisiográficas en el crecimiento de Pinus radiata D. Don en Ayotoxla, G. R. O. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 146 p.
- 2.Bonnefoy, M. 1982. Caracterización de sitios con Pinus radiata D. Don en Chile central en base a algunos factores físicos del suelo. Tesis Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile . Valdivia. 139 p.
- 3.Bowersox, T. W. y Ward, W. W. 1972. Prediction of Oak site index in the Riage and Valley Region of Pennsylvania. For. Sci. 18: 192 - 195.
- 4.Brady, N. 1984. The nature and properties of soils. The McMillan Company, New York.
- 5.Broadfoot, W. M. 1969. Problems in Relating Soil to Site Index For Southern Hardwoods. Forest Sci. 15 : 354 - 364.
- 6.Brown, H., y H. Loewenstein. 1978. Predicting site productivity of mixed conifer stands in northern Idaho from soil and topographic variables. Soil Sci. Am. J. 42: 967 - 971.
- 7.Carrasco, P. P. y J. Millán. 1990. Proyecto suelos forestales de la VIII región, informe final. Universidad de Concepción. Departamento Cs. Forestales. Ministerio de Agricultura, FIA. Chillán, Chile.

8. Carrasco, P. P. 1984. Efectos de las napas freáticas en plantaciones de pino insigne. IV Simposio Nacional de la Ciencia del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Comisión I. Valdivia, Chile. pp: 85 - 101.
9. Carrasco, P. P. 1989. Suelos forestales de VIII región. Chile Forestal, Documento Técnico N° 41. Santiago, Chile.
10. Daniel, T., J. Helms y F. Baker. 1982. Principios de silvicultura. (2a. ed.) McGraw - Hill, México.
11. Dickmers, A. D. y Todd, H. N. 1971. Introducción a la estadística. 645 p.
12. Donoso, C. 1981. Ecología Forestal. El Bosque y su medioambiente. Facultad de ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 369 p.
13. Draper, N. y Smith, N. 1966. Applied regression analysis. Wiley. New York, U. S. A. 373 p.
14. Francke, S., Vergara, N., Bennewitz, R. 1988. Evaluación preliminar de las principales series y fases de suelo en relación al índice de sitio de plantaciones de Pinus radiata D. Don de la X Región. Ciencia e Investigación Forestal. Volumen 2, número 4. Santiago
15. Francke, S. 1988. Influencia de algunos factores edáficos en el índice de sitio de plantaciones de Pinus radiata para la V Región. Ciencia e Investigación Forestal. Volumen 2, número 3. Santiago.

16. Froehlich, H. A., Miles, D. W. R. and Robbins, R. W., 1986. Growth of young *Pinus ponderosa* and *Pinus contorta* on compacted soil in Central Washington. *For. Ecol. Manage.*, 15: 285 - 294.
17. García, J. S. 1982. Calidad de sitio para plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la cordillera de la costa de la región del Maule. En: J. E. Schlatter (de). Evaluación de la productividad de los sitios forestales. Actas de trabajo 22 - 24 abril 1982. U. Austral e IREN - CORFO, Valdivia, Chile.
18. Gandulo, J., Gonzalez, S., Sanchez, O. 1974. Ecología de los pinares españoles. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura, Madrid, España. 187 p.
19. Hidalgo, D. 1980. Factores edáficos limitantes para el desarrollo de *Pinus radiata* D. Don en área de la costa. Provincia de Cautín. Tesis Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 173 p.
20. Jackson, D., y H. Gifford. 1974. Environmental variables influencing the increment of radiata pine periodic volume increment. *N. Z. J. For. Sci.* 4: 3 - 26.
21. Jokela, E., E. White y J. Berglund. 1988. Predicting norway spruce growth from soil and topographic properties in New York. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52: 809 - 815.
22. Mader, D. L. 1976. Soil -site productivity for natural stands of white pine in Massachusetts. *Soil Sci. Am. J.* 40: 112 - 115.

23. Peña, S. 1974. Variación de las propiedades físicas y químicas del suelo Serie Arenales en relación a su cubierta forestal. Tesis. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillán . 94 p.
24. Peralta, M. 1976. Uso, clasificación y conservación de suelos. Ministerio de Agricultura. Sociedad Agrícola y Ganadera. Santiago, Chile. 337 p.
25. Pritchett, W. 1979. Properties and management of forest soils. Wiley. New York, U.S.A.
26. Schlatter, J., V. Gerding y M. Bonnefoy. 1982. Factores del sitio de mayor incidencia en la productividad de *Pinus radiata* D. Don. En: J. E. Schlatter (de). Evaluación de la productividad de sitios forestales. Actas de reunión de trabajo 22 - 24 abril 1982. U. Austral e IREN - CORFO, Valdivia, Chile.
27. Schlatter, J. 1977. La relación entre el suelo y plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Chile Central. Análisis de la situación actual y planteamiento para su futuro manejo. Revista Bosque de la Univ. Austral de Chile, Fac. Ing. Forestal 1 (2). 12 - 31.
28. Schlatter, J., Hidalgo, D. 1982. Métodos para diferenciar sitios en base a un ejemplo para la comuna de Corral, Valdivia X Región. In: Evaluación de la productividad de sitios forestales. Actas de Reunión de Trabajo. pp: 110 - 135. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia.

29. Schlatter, J., Gerding, V. y Adriaola, J. 1994. Sistema de ordenamiento de la Tierra. Herramienta para la planificación forestal aplicado a las Regiones VII, VIII y IX. facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia.
30. Scott, C. W. 1961. Pino insigne. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. FAO. Roma, Italia. 340 p.
31. Steinbrenner, E. C. 1968. The influence of individual soil and physiographic factors on the site index of douglas - fir in western Washington. In C. T. Youngberg, (de) 2nd N. Amer. Forest Soils Conf. Proc., pp. 261 - 277. Oregon State Univ. Press, Corvallis.
32. Steinbrenner, E. C. 1979. Forest Soil productivity relationship. In: Forest Soils of the Douglas - fir Región. Washington State University, Washington. pp: 199 - 229.
33. Forest Service USDA, 1965. Silvics of Forest trees of the United States. Handbook 271.
34. Vera, A. X. 1988. Relación entre los factores del sitio y el índice de sitio de Pinus radiata D. Don para la zona de Valdivia. Tesis Ingeniería Forestal Universidad Austral de Chile. Valdivia. 78 p.



Apéndice N° 1. Caracterización del Grupo de Suelos Graníticos, con valores máximos, mínimos, promedios y desviación estandar, por estratos

	Estrato	pH	N	P	M.O.	K	Ca.	ARENA	LIMO	ARCILLA	ESQ.	C. de C.	P.M.P.	DAP	PCAP	PNCAP	m ³ /ha.	PTOT	
Núm	1	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
Mín		4.97	0.01	1.00	0.29	0.01	0.17	16.50	11.20	9.20	0.00	13.10	1.80	0.67	13.10	8.90	196.80	41.10	
Máx		6.75	0.47	200.00	7.81	0.67	9.16	67.30	68.30	63.00	123.40	46.20	24.80	1.56	46.20	45.00	583.20	74.70	
Prom		5.71	0.10	16.88	2.74	0.26	2.58	39.06	25.55	35.40	16.34	23.74	13.95	1.21	23.74	30.65	342.46	54.38	
Desv		0.38	0.07	23.69	1.68	0.13	1.77	10.81	8.16	10.77	15.01	6.06	4.45	0.20	6.06	6.13	78.40	7.58	
Núm	2	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
Mín		5.06	0.01	1.00	0.23	0.05	0.16	8.30	12.20	8.20	0.00	10.10	0.00	0.79	10.10	6.20	182.40	35.10	
Máx		7.10	0.28	197.40	5.77	1.82	10.90	65.20	69.20	68.10	55.86	43.30	26.10	1.72	43.30	42.60	608.60	70.20	
Prom		5.78	0.07	13.78	1.57	0.25	2.56	36.52	24.35	30.13	17.27	23.39	14.02	1.28	23.38	28.47	347.94	51.85	
Desv		0.43	0.05	25.15	1.10	0.22	2.16	11.24	7.98	11.33	13.47	5.18	4.13	0.18	5.18	5.46	80.45	6.93	
Núm	3	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
Mín		4.99	0.01	1.00	0.16	0.05	0.17	3.50	12.80	7.20	0.00	8.00	3.40	0.13	8.00	1.50	201.50	32.50	
Máx		7.00	0.30	152.00	9.60	1.60	11.00	69.40	65.80	68.20	53.76	38.70	23.90	1.79	38.70	41.60	669.20	66.40	
Prom		5.80	0.05	14.93	1.17	0.22	2.21	38.03	24.65	37.32	17.22	23.24	13.73	1.29	23.24	27.51	369.20	50.75	
Desv		0.47	0.04	27.45	1.51	0.21	1.84	13.60	7.94	12.61	12.77	4.77	3.82	0.20	4.77	5.97	88.11	5.96	

Apéndice N° 2. Matriz de correlación de Pearson, para cada una de las variables con el Índice de sitio, en los tres estratos.

	IS	ALTTT	PH1	PH2	PH3	N1	N2	N3	F1	F2	F3	MO1	MO2	MO3	K1	K2	K3	CA1	CA2	CA3	AR1	AR2	AR3	LM1	LM2	LM3	ARC1				
IS	1,000																														
ALTTT	-0.402	1,000																													
PH1	-0.354	-0.299	1,000																												
PH2	-0.297	-0.418	0.791	1,000																											
PH3	-0.275	-0.413	0.886	0.952	1,000																										
N1	-0.099	0.051	0.083	-0.025	0.051	1,000																									
N2	-0.168	0.294	0.188	0.017	0.155	0.706	1,000																								
N3	-0.029	0.116	0.164	-0.048	0.087	0.397	0.708	1,000																							
F1	-0.448	0.053	0.498	0.560	0.550	0.364	0.414	0.161	1,000																						
F2	-0.050	-0.079	0.313	0.294	0.333	0.210	0.318	0.073	0.318	1,000																					
F3	-0.081	0.016	0.316	0.293	0.330	0.236	0.335	0.108	0.334	0.960	1,000																				
MO1	-0.145	0.273	-0.027	-0.092	-0.049	0.796	0.697	0.483	0.414	0.167	0.216	1,000																			
MO2	-0.156	0.434	0.063	-0.097	0.028	0.595	0.941	0.637	0.376	0.317	0.336	0.700	1,000																		
MO3	-0.286	0.356	-0.099	-0.170	-0.166	0.074	0.116	0.133	0.090	0.066	0.118	0.120	0.214	1,000																	
K1	0.335	-0.482	0.104	0.055	0.087	-0.312	-0.316	0.020	-0.256	-0.173	-0.227	-0.396	-0.367	-0.192	1,000																
K2	0.260	-0.203	0.230	0.127	0.196	-0.199	-0.098	-0.041	-0.177	0.003	-0.064	-0.313	-0.127	-0.252	0.750	1,000															
K3	0.258	-0.319	0.351	0.224	0.322	0.089	0.087	0.072	0.086	0.237	0.224	-0.071	0.039	-0.133	0.687	0.752	1,000														
CA1	-0.026	-0.464	0.437	0.552	0.614	0.220	0.241	0.200	0.346	0.333	0.344	0.038	0.107	-0.139	0.157	0.032	0.382	1,000													
CA2	-0.007	-0.372	0.468	0.511	0.593	0.122	0.261	0.250	0.309	0.373	0.411	-0.019	0.164	-0.101	0.166	0.097	0.382	0.922	1,000												
CA3	0.176	-0.466	0.375	0.338	0.409	-0.163	-0.094	0.153	-0.137	0.109	0.113	-0.335	-0.170	-0.192	0.439	0.283	0.357	0.685	0.769	1,000											
AR1	0.265	-0.107	-0.421	-0.364	-0.378	-0.019	-0.054	-0.143	-0.241	0.067	-0.011	-0.068	-0.042	-0.130	0.107	0.095	-0.095	-0.272	-0.293	-0.161	1,000										
AR2	0.278	-0.067	-0.564	-0.400	-0.452	-0.180	-0.158	-0.254	-0.271	0.059	-0.029	-0.129	-0.115	-0.143	0.003	0.000	-0.197	-0.304	-0.350	-0.258	0.916	1,000									
AR3	0.156	-0.017	-0.531	-0.341	-0.420	-0.191	-0.231	-0.328	-0.308	0.008	-0.096	-0.180	-0.192	-0.096	-0.117	0.011	-0.296	-0.397	-0.451	-0.313	0.791	0.918	1,000								
LM1	-0.349	-0.063	0.632	0.654	0.708	0.442	0.451	0.232	0.730	0.338	0.395	0.426	0.375	0.078	-0.368	-0.213	0.110	0.404	0.314	-0.093	-0.482	-0.491	-0.449	1,000							
LM2	-0.323	-0.082	0.662	0.666	0.738	0.415	0.468	0.290	0.628	0.304	0.384	0.400	0.397	0.132	-0.287	-0.150	0.181	0.420	0.363	0.005	-0.497	-0.524	-0.500	0.959	1,000						
LM3	-0.259	-0.088	0.590	0.598	0.650	0.309	0.381	0.203	0.599	0.301	0.394	0.332	0.317	0.094	-0.200	-0.176	0.247	0.481	0.432	0.046	-0.589	-0.574	-0.634	0.853	0.889	1,000					
ARC1	0.074	0.167	-0.193	-0.272	-0.310	-0.410	-0.384	-0.082	-0.467	-0.395	-0.372	-0.343	-0.322	0.054	0.230	0.112	-0.012	-0.121	-0.013	0.251	-0.528	-0.435	-0.352	-0.490	-0.435	-0.240	1,000				
ARC2	0.037	0.153	-0.081	-0.253	-0.274	-0.231	-0.308	-0.028	-0.352	-0.368	-0.357	-0.270	-0.281	0.016	0.286	0.151	0.022	-0.107	-0.002	0.263	-0.452	-0.512	-0.452	-0.456	-0.463	-0.299	0.891				
ARC3	0.047	0.106	0.119	-0.132	-0.082	-0.049	-0.067	0.227	-0.176	-0.297	-0.251	-0.085	-0.057	0.034	0.341	0.153	0.144	0.051	0.166	0.357	-0.451	-0.630	-0.677	-0.237	-0.206	-0.140	0.679				
ESQ1	-0.132	0.043	-0.190	-0.161	-0.222	-0.178	-0.325	-0.292	-0.170	0.002	-0.006	-0.213	-0.249	0.786	0.053	-0.076	-0.060	-0.106	-0.108	-0.015	-0.026	0.009	0.084	-0.230	-0.189	-0.159	0.248				
ESQ2	0.143	-0.388	-0.083	0.000	-0.046	-0.248	-0.385	-0.311	-0.193	-0.115	-0.162	-0.318	-0.383	-0.039	0.467	0.264	0.235	0.163	0.191	0.328	0.002	0.052	0.057	-0.357	-0.331	-0.252	0.344				
ESQ3	0.071	-0.348	-0.096	-0.015	-0.084	-0.309	-0.426	-0.269	-0.199	-0.154	-0.211	-0.358	-0.393	0.126	0.330	0.068	0.096	0.201	0.168	0.341	-0.053	0.003	0.030	-0.351	-0.341	-0.301	0.393				
CC1	-0.261	0.428	0.095	0.016	0.067	0.565	0.581	0.339	0.359	0.210	0.279	0.660	0.655	0.361	-0.484	-0.309	0.017	0.111	0.084	-0.244	-0.564	-0.512	-0.471	0.560	0.581	0.610	0.018				
CC2	-0.353	0.387	0.388	0.233	0.334	0.452	0.610	0.458	0.361	0.245	0.325	0.526	0.632	0.314	-0.400	-0.166	0.081	0.117	0.116	-0.137	-0.605	-0.624	-0.563	0.692	0.749	0.687	-0.069				
CC3	-0.074	0.187	0.355	0.204	0.310	0.282	0.512	0.513	0.173	0.163	0.251	0.353	0.499	0.143	-0.064	0.004	0.271	0.205	0.232	0.043	-0.659	-0.684	-0.736	0.506	0.604	0.703	0.165				
FMP1	-0.280	0.537	-0.006	-0.074	-0.050	0.364	0.438	0.284	0.177	-0.033	0.046	0.532	0.534	0.315	-0.376	-0.228	-0.020	-0.028	-0.035	-0.265	-0.662	-0.573	-0.504	0.368	0.409	0.487	0.302				
FMP2	-0.440	0.491	0.337	0.168	0.248	0.333	0.512	0.462	0.297	0.060	0.118	0.472	0.536	0.221	-0.308	-0.101	0.011	0.021	0.041	-0.118	-0.713	-0.716	-0.609	0.509	0.542	0.518	0.216				
FMP3	-0.151	0.255	0.334	0.130	0.251	0.309	0.498	0.563	0.190	0.036	0.114	0.402	0.493	0.132	-0.023	-0.016	0.233	0.200	0.235	0.089	-0.723	-0.778	-0.814	0.430	0.505	0.586	0.303				
DAF1	0.199	-0.720	0.152	0.233	0.196	-0.546	-0.530	-0.122	-0.229	-0.152	-0.249	-0.609	-0.626	-0.266	0.534	0.210	0.078	0.226	0.248	0.512	0.155	0.189	0.187	-0.303	-0.297	-0.289	0.139				
DAF2	0.354	-0.744	-0.054	0.074	0.024	-0.421	-0.579	-0.360	-0.318	-0.054	-0.153	-0.576	-0.670	-0.381	0.506	0.206	0.149	0.216	0.227	0.445	0.334	0.359	0.308	-0.427	-0.439	-0.328	0.082				
DAF3	0.079	-0.124	-0.111	0.176	0.030	-0.547	-0.481	-0.298	-0.008	-0.001	-0.037	-0.336	-0.335	-0.082	0.074	-0.105	-0.179	-0.043	0.039	0.245	0.026	0.134	0.145	-0.220	-0.198	-0.210	0.188				
PCAF1	-0.261	0.428	0.095	0.016	0.067	0.565	0.581	0.339	0.359	0.210	0.279	0.660	0.655	0.361	-0.484	-0.309	0.017	0.111	0.084	-0.244	-0.564	-0.512	-0.471	0.560	0.581	0.610	0.018				
PCAF2	-0.353	0.387	0.388	0.233	0.334	0.452	0.610	0.458	0.361	0.245	0.325	0.526	0.633	0.314	-0.400	-0.166	0.081	0.117	0.116	-0.137	-0.605	-0.624	-0.563	0.692	0.749	0.687	-0.069				
PCAF3	-0.074	0.187	0.355	0.204	0.310	0.282	0.512	0.513	0.173	0.163	0.251	0.353	0.499	0.143	-0.064	0.004	0.271	0.205	0.232	0.043	-0.659	-0.684	-0.736	0.506	0.604	0.703	0.165				
FNCAP1	0.046	0.491	-0.338	-0.355	-0.366	0.065	0.024	-0.254	-0.127	-0.048	0.004	0.036	0.068	-0.076	0.152	0.091	-0.133	-0.464	-0.461	-0.423	0.493	0.379	0.328	-0.277	-0.311	-0.360	-0.222				
FNCAP2	-0.129	0.728	-0.411	-0.422	-0.469	0.113	0.170	0.006	0.060	-0.227	-0.166	0.273	0.290	0.223	-0.318	-0.126	-0.351	-0.508	-0.525	-0.558	0.228	0.211	0.217	-0.187	-0.240	-0.344	-0.046				
FNCAP3	-0.022	0.353	-0.430	-0.404	-0.454	0.177	0.079	-0.197	0.052	0.013	0.021	0.214	0.134	0.078	-0.336	-0.182	-0.312	-0.296	-0.350	-0.478	0.470	0.524	0.534	-0.196	-0.314	-0.371	-0.278				
AG1	-0.027	-0.327	0.360	0.295	0.359	0.416	0.304	0.251	0.421	0.500	0.459	0.317	0.270	0.206	-0.281	-0.279	0.029	0.390	0.361	0.164	-0.129	-0.141	-0.133	0.543	0.518	0.443	-0.398				
AG2	0.160	-0.375	0.320	0.272	0.352	0.215	0.186	0.105	0.072	0.421																					

	ARC2	ARC3	ESQ1	ESQ2	ESQ3	CC1	CC2	CC3	FMP1	FMP2	FMP3	DAF1	DAF2	DAF3	PCAP1	PCAP2	PCAP3	NCAP	NCAP	NCAP	AG1	AG2	AG3	FTOT1	FTOT2	FTOT3	
IS																											
ALTY																											
PH1																											
PH2																											
PH3																											
N1																											
N2																											
N3																											
P1																											
P2																											
P3																											
MO1																											
MO2																											
MO3																											
K1																											
K2																											
K3																											
CA1																											
CA2																											
CA3																											
AR1																											
AR2																											
AR3																											
LIM1																											
LIM2																											
LIM3																											
ARC1																											
ARC2	1,000																										
ARC3	0.863	1,000																									
ESQ1	0.181	0.044	1,000																								
ESQ2	0.280	0.168	0.442	1,000																							
ESQ3	0.341	0.247	0.570	0.847	1,000																						
CC1	-0.053	0.022	-0.009	-0.375	-0.320	1,000																					
CC2	-0.106	0.068	-0.106	-0.488	-0.422	0.873	1,000																				
CC3	0.103	0.273	-0.169	-0.304	-0.327	0.713	0.839	1,000																			
FMP1	0.184	0.182	0.012	-0.287	-0.238	0.924	0.810	0.736	1,000																		
FMP2	0.198	0.287	-0.132	-0.370	-0.327	0.786	0.906	0.793	0.845	1,000																	
FMP3	0.300	0.485	-0.180	-0.248	-0.249	0.700	0.810	0.939	0.767	0.871	1,000																
DAF1	0.103	0.036	0.069	0.307	0.313	-0.733	-0.632	-0.458	-0.696	-0.584	-0.445	1,000															
DAF2	0.070	-0.083	0.059	0.343	0.447	-0.753	-0.795	-0.563	-0.749	-0.767	-0.585	0.867	1,000														
DAF3	0.060	0.014	0.091	0.227	0.273	-0.288	-0.321	-0.312	-0.270	-0.260	-0.290	0.382	0.321	1,000													
PCAP1	-0.053	0.022	-0.009	-0.375	-0.320	1,000	0.873	0.713	0.924	0.786	0.700	-0.733	-0.753	-0.288	1,000												
PCAP2	-0.106	0.068	-0.106	-0.488	-0.422	0.873	1,000	0.839	0.810	0.906	0.810	-0.632	-0.795	-0.321	0.173	1,000											
PCAP3	0.103	0.273	-0.169	-0.304	-0.327	0.713	0.839	1,000	0.736	0.793	0.939	-0.458	-0.563	-0.312	0.13	0.839	1,000										
PNCAP1	-0.080	-0.078	-0.087	-0.252	-0.330	-0.217	-0.172	-0.246	-0.174	-0.159	-0.249	-0.505	-0.288	-0.183	-0.17	-0.172	-0.246	1,000									
PNCAP2	0.022	0.050	0.039	-0.269	-0.194	0.120	0.025	-0.151	0.193	0.099	-0.078	-0.590	-0.626	-0.118	0.20	0.025	-0.151	0.695	1,000								
PNCAP3	-0.228	-0.330	0.059	-0.116	-0.071	-0.035	-0.246	-0.492	-0.073	-0.280	-0.464	-0.318	-0.222	-0.254	-0.135	-0.246	-0.492	0.500	0.683	1,000							
AG1	-0.376	-0.252	0.017	-0.165	-0.097	0.408	0.333	0.155	0.083	0.098	0.071	0.037	-0.014	0.026	0.08	0.335	0.155	-0.571	-0.406	-0.148	1,000						
AG2	-0.342	-0.377	-0.024	-0.317	-0.283	0.233	0.341	0.296	-0.016	-0.036	0.065	-0.011	0.049	-0.119	0.33	0.341	0.296	-0.280	-0.520	-0.293	0.640	1,000					
AG3	-0.245	-0.214	-0.020	-0.107	-0.189	0.101	0.255	0.490	0.041	0.059	0.212	0.088	0.111	0.057	0.01	0.255	0.490	-0.253	-0.510	-0.649	0.250	0.662	1,000				
FTOT1	-0.103	-0.035	-0.069	-0.507	-0.513	0.733	0.652	0.459	0.696	0.584	0.445	-1,000	-0.867	-0.382	0.33	0.652	0.459	0.505	0.590	0.317	-0.038	0.011	-0.088	1,000			
FTOT2	-0.070	0.083	-0.059	-0.544	-0.447	0.754	0.796	0.564	0.750	0.768	0.586	-0.867	-1,000	-0.322	0.54	0.796	0.564	0.287	0.625	0.221	0.016	-0.048	-0.110	0.867	1,000		
FTOT3	-0.103	-0.018	-0.124	-0.426	-0.409	0.716	0.653	0.595	0.704	0.574	0.557	-0.774	-0.796	-0.562	0.16	0.653	0.595	0.203	0.472	0.407	0.025	0.040	-0.085	0.775	0.796	1,000	

NUMBER 0

>

Apéndice N° 3. Ecuación de regresión para el Grupo de Suelos Graníticos.

DEP VAR:	IS	N:	33	MULTIPLE R:	0.841	SQUARED MULTIPLE R:	0.708
ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R:	.611	STANDARD ERROR OF ESTIMATE:	2.931				
VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P (2 TAIL)	
CONSTANT	54.754	6.222	0.000	.	8.800	0.000	
ALTTT	-0.015	0.006	-0.522	0.303	-2.602	0.016	
PH12	-0.483	0.164	-0.456	0.508	-2.950	0.007	
P12	-0.002	0.001	-0.355	0.496	-2.269	0.033	
V1AR1	139.402	89.307	0.304	0.320	1.561	0.132	
ESQ1	-0.063	0.025	-0.290	0.892	-2.480	0.021	
FMP22	-0.020	0.009	-0.576	0.178	-2.205	0.037	
DAP2LN	-13.347	6.512	-0.517	0.192	-2.050	0.051	
V1K32	-0.015	0.005	-0.347	0.838	-2.877	0.008	

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	499.732	8	62.466	7.273	0.000
RESIDUAL	206.128	24	8.589		

>

Apéndice N° 4. Ecuación de regresión para la Serie San Esteban (ET).

DEP VAR: IS N: 24 MULTIPLE R: 0.904 SQUARED MULTIPLE R: 0.817
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .752 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 2.340

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P (2 TAIL)
CONSTANT	24.378	3.568	0.000	.	6.833	0.000
P12	-0.002	0.000	-0.425	0.795	-3.654	0.002
M01LN	2.369	1.262	0.247	0.620	1.877	0.078
PMP22	-0.010	0.005	-0.318	0.535	-2.241	0.039
M03LN	-2.003	0.778	-0.305	0.764	-2.574	0.020
V1K32	-0.016	0.005	-0.401	0.706	-3.247	0.005
AG3	0.020	0.008	0.306	0.684	2.436	0.026

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	415.809	6	69.301	12.652	0.000
RESIDUAL	93.116	17	5.477		

>

Apéndice N° 5. Ecuación de regresión para la serie Cauquenes (CQ).

DEP VAR: ISLN N: 9 MULTIPLE R: 0.942 SQUARED MULTIPLE R: 0.887
 ADJUSTED SQUARED MULTIPLE R: .774 STANDARD ERROR OF ESTIMATE: 0.093

VARIABLE	COEFFICIENT	STD ERROR	STD COEF	TOLERANCE	T	P (2 TAIL)
CONSTANT	-0.528	1.140	0.000	.	-0.463	0.668
AR3LN	0.982	0.312	0.936	0.319	3.145	0.035
ARC32	0.000	0.000	0.672	0.547	2.954	0.042
V1PMP32	-150.139	35.291	-1.130	0.401	-4.254	0.013
PNCAP3	0.032	0.012	0.616	0.522	2.648	0.057

ANALYSIS OF VARIANCE

SOURCE	SUM-OF-SQUARES	DF	MEAN-SQUARE	F-RATIO	P
REGRESSION	0.271	4	0.068	7.842	0.035
RESIDUAL	0.035	4	0.009		

>