



**UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL CONTENIDO DE
HUMEDAD, EN SUELOS SOMETIDOS A OBRAS DE CONSERVACIÓN
(ZANJAS DE INFILTRACIÓN Y SUBSOLADO), EN ÁREAS DE LAS REGIONES
VI, VII Y VIII**

Andrea Sherry Pavez Rosales

Memoria para optar al título de Ingeniera Forestal

PROFESOR GUÍA: Dr. Ing. Roberto Pizarro Tapia

**Talca-Chile
2004**

*Dedico esta memoria, de todo corazón,
a mis queridos padres Sergio y Teresa*

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis sinceros agradecimientos a quienes me brindaron su apoyo, confianza y aportaron a la realización de este trabajo, en especial a:

- Mis padres Sergio y Teresa, por su amor incondicional y por todos los esfuerzos que han hecho para sacar adelante a mí y a mis hermanos.
- A mi hermanita Marite, porque a pesar de la distancia, a sido una de las personas más importantes en mi vida.
- También a mis hermanos, Danilo y Fabián, por su constante preocupación y cariño.
- A mi profesor Roberto Pizarro, de todo corazón, por su dedicación y su apoyo.
- A la profesora María Gloria Icaza, por su disposición y ayuda en la realización de esta memoria.
- A las familias Pavez Rojas y Pareja González; porque me han abierto las puertas de sus casas y me han tratado como una más de su familia.
- No puedo dejar de nombrar a mis grandes amigas Virginia, Dayanna y Pamela, por su apoyo, amistad.
- Finalmente quisiera agradecer de manera especial a Alejandro, por su apoyo y confianza y principalmente porque me ha sabido entender con el corazón.

ÍNDICE

RESUMEN

SUMMARY

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivo específico.....	3
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. El suelo.....	4
3.2. El agua en el suelo.....	6
3.3. Importancia de la densidad aparente del suelo.....	8
3.4. Obras de conservación de aguas y suelos.....	9
3.5. Investigaciones y estudios, respecto a las obras de conservación de aguas y suelos y el contenido de humedad en el suelo.....	10
4. ANTECEDENTES GENERALES	13
4.1. Antecedentes generales de las regiones del Libertador General Bernardo OHiggins, del Maule y del Biobío.....	13
4.2. Ubicación y especificación de los ensayos.....	15
5. METODOLOGÍA	22

5.1. Pasos metodológicos.....	22
5.1.1. Revisión bibliográfica.....	22
5.1.2. Establecimiento de los ensayos.....	22
5.1.3. Ubicación y especificaciones de las obras de conservación.....	23
5.1.4. Toma de muestras en terreno.....	24
5.1.5. Cálculo del contenido de humedad.....	25
5.1.6. Análisis estadístico preliminar.....	27
5.1.7. Análisis multifactorial con interacción.....	28
5.1.7.1. Determinación de las variables evaluadas.....	29
5.1.7.2. Verificación de supuestos para aplicar modelos paramétricos.....	30
5.1.7.3. Modelo utilizado.....	31
5.1.7.4. Comparación del contenido de humedad entre los distintos tratamientos.....	33
5.1.8. Presentación y análisis de resultados.....	34
5.1.9. Conclusión y recomendaciones.....	35
5.2. Materiales y equipos.....	35
6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	36
6.1. Resultados de densidad aparente.....	36
6.2. Verificación del supuesto de homocedasticidad	37
6.3. Análisis multifactorial con interacción.....	38
6.3.1. Interacción tratamiento – tiempo.....	38
6.3.2. Interacción profundidad – tiempo.....	43
6.3.3. Interacción ubicación – tiempo.....	47
6.3.4. Interacción tratamiento – ubicación.....	51
6.3.5. Interacción profundidad – tratamiento.....	55
6.3.6. Interacción profundidad – ubicación.....	60

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	64
7.1. Análisis de los cálculos de densidad aparente.....	64
7.2. Análisis del contenido de humedad respecto de los tratamientos.....	65
7.3. Resumen de los resultados y los análisis.....	75
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
8.1. Conclusiones.....	78
8.2. Recomendaciones.....	79
9. BIBLIOGRAFÍA	80

ANEXOS

APÉNDICES

RESUMEN

En el presente estudio se realizó un análisis temporal del contenido de humedad en plantaciones de *Pino insigne*, sometidos a 2 tipos de obras de conservación de aguas y suelos, las cuales son zanjas de infiltración y subsolado. Para ello se establecieron en marzo de 2003, 8 ensayos en el secano de las regiones VI, VII y VIII. Así, se implementaron dos tipos de subsolados, los cuales se diferenciaron por su distanciamiento entre líneas, de 4m y 5m. Además, se establecieron dos tipos de zanjas, considerando dos anchos diferentes de base, 20 cm y 30 cm, y una altura común de 30 cm. Las mediciones se realizaron mensualmente desde enero del 2002 hasta noviembre del 2003, y en cada ensayo se midió a 30 cm y 60 cm de profundidad, y diferenciando la zona alta y baja de cada tratamiento.

Para evaluar el contenido de humedad se realizó un análisis multifactorial con interacción para cada ensayo, donde se evaluaron 4 factores, estos son los tratamientos, la ubicación, la profundidad y el tiempo y además se realizaron comparaciones entre los tratamientos evaluados.

Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de humedad tiene un comportamiento muy variable, y que la interacción entre los factores tratamiento – ubicación, fue la que presentó mayor interacción, de un 90%, para todos los ensayos evaluados. Además, al comparar los tratamientos, la situación que más se repitió fue que la unidad testigo presentó mayor contenido de humedad que en los otros ensayos; sin embargo, al comparar estos resultados con la altura de plantas de *Pino insigne* ubicada en cada ensayo, se determinó que el menor crecimiento se obtuvo en testigo.

SUMMARY

In the present study a temporary analysis of the humidity content was made in pine plantations insigne, put under 2 types of works of conservation of waters and grounds, which are ditches of infiltration ditches and subpaved. For which they settled down in March of 2003, 8 tests in the dry land of the regions I SAW, VII and VIII. Thus, two subpaved types were implemented of, which were different by their spacing between lines of subpaved, of 4m and 5m. In addition, two types of ditches, considering two wide settled down different ones, 20 cm and 30 cm. The measurements were made monthly from January of the 2002 to November of the 2003, which obtained from each test to 30 cm and 60 cm of depth and in the high and low zone of each treatment.

In order to estimate the humidity content of it made a multifactorial analysis with interaction for each test, where 4 factors were evaluated, these are the treatments, the location, the depth and the time and in addition comparisons between the evaluated treatments were made.

Results obtained showed that content of humidity tolerates very variable what location had mainly to factors treatment -, since they were those that presented/displayed greater interaction, of a 90%, for all the evaluated tests. In addition, when comparing the treatments, the situation that was repeated more was that the unit witness presented/displayed greater humidity content than in the other tests and that simultaneously when comparing these results with the height of the plants determined that the smaller growth was obtained in witness.

1. INTRODUCCIÓN

La potencialidad de un país puede valorarse básicamente por los recursos naturales que posee y la forma en que éstos están siendo aprovechados. Así, entre las riquezas naturales más importantes y más explotadas, se encuentra el suelo.

El suelo es un recurso natural que constituye un patrimonio necesario para la productividad de un país; sin embargo y debido al mal uso que se le ha dado a lo largo de varias décadas, se han generado evidentes procesos de degradación (Soto, 1997).

De esta forma y según CONAF (2004), el 62.3 % del territorio nacional está afectado por el proceso global de desertificación, lo que equivale a una superficie aproximada de 47.3 millones de hectáreas. En consecuencia, este fenómeno se expresa con mayor magnitud en las siguientes macrozonas: La Precordillera de la I y II Región; la faja costera de la I a la IV Región; las áreas ocupadas por las comunidades agrícolas de la III a la IV Región; el Secano Costero de la V a la VIII Región; la Precordillera Andina de la VI a la VIII Región; y las zonas degradadas de la XI a la XII Región.

De esta manera, las grandes extensiones de terreno erosionados en diversas formas y variados grados de intensidad que existen en Chile, están estrechamente ligados a la fragilidad del suelo, lo que es consecuencia de la accidentada topografía de lomajes, cerros y montañas que predominan sobre la mayor parte del territorio nacional, el grado de destrucción de la cobertura vegetal y ciertas características del clima y de los suelos. En efecto, si a la fragilidad de los ecosistemas se le agrega el desarrollo de explotaciones silvoagrícolas, que no consideran la real capacidad de uso de los suelos, se tiene como resultado el deterioro señalado (INIA, 2001).

Por lo anterior, el suelo debe ser conservado, mejorado y recuperado. Asimismo, en el país existe una gran cantidad de suelos susceptibles de ser recuperados mediante la

combinación de plantaciones forestales con diversas prácticas de conservación de aguas y suelos, que permitan la detención del agua para ser aprovechada en el establecimiento de plantas, provocando que haya un menor escurrimiento y por ende una menor cantidad de suelo arrastrado, lo que se traduce en la mantención de la capa de suelo productivo. Por esto, que es necesario realizar estudios para evaluar algunas técnicas de conservación de aguas y suelos, con el objetivo determinar cómo se comporta el agua en suelos sometidos a obras de conservación.

Es en este contexto en el que se realiza el siguiente estudio, el cual pretende evaluar el comportamiento del contenido de humedad en el suelo, utilizando dos técnicas de conservación de suelos, como son las zanjas de infiltración y el subsolado, aplicadas en el establecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don), ubicados en el secano de las regiones del Lib. Gral. Bernardo O'Higgins, del Maule y del Bío Bío.

2. OBJETIVOS

2.1.- Objetivo General

Estudiar el comportamiento del agua en el perfil de suelo, como producto de la construcción de obras de conservación.

2.2.- Objetivo Específico

Determinar la variabilidad temporal del contenido de humedad del suelo en zanjas de infiltración y subsolado asociado a plantaciones de *Pino insigne*.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. El suelo

Se define como un sistema natural desarrollado a partir de una mezcla de minerales y restos orgánicos bajo la influencia del clima y del medio biológico; se diferencia en horizontes y suministra, en parte, los nutrientes y el sostén que necesitan las plantas, al contener cantidades apropiadas de aire y de agua (Faesbender, 1975).

El suelo posee cuatro componentes importantes, los cuales son: minerales, materia orgánica, aire y agua (Fassbender, 1975).

Según Honorato (1993), las propiedades físicas del suelo son aquellas relacionadas con la organización física de un suelo, que son utilizadas en su descripción y que equivalen a su arquitectura, las cuales se clasifican en textura, estructura, porosidad, peso (densidad), color y profundidad. En efecto, según Daniel *et al* (1982), antes de realizar cualquier estudio de suelos, se recomienda conocer las propiedades físicas de éste, con el propósito de tener una visión más acabada de la productividad del suelo y del manejo que éste requiere.

Por otra parte, los suelos degradados se definen como aquellos suelos que presentan categorías de erosión moderada a muy severa, susceptibles de ser recuperados mediante actividades, prácticas u obras de conservación del uso del suelo (CONAF, 1999).

Según Peralta (1995), son múltiples los factores que condicionan la degradación de los suelos. Entre los más importantes cabe mencionar:

a) Relación con las condiciones climáticas: La precipitación es uno de los elementos más importantes por presentar gran variabilidad inter e intra-anual en todo el país, unido a una tendencia a concentrarse en lapsos cortos, particularmente en invierno, cuando el suelo presenta menor protección vegetal. La acción de la gota de agua sobre un suelo desnudo es lo que provoca mayor daño.

b) Relación con el relieve: Se estima que el 80 % del territorio nacional está constituido por cerros y montañas, que hacen muy susceptible al país a la erosión de sus suelos, a no ser que se adopten efectivas medidas de manejo. La inclinación de las pendientes, la longitud, forma y exposición de las mismas, inciden directamente en el potencial de erosión de los suelos.

c) Relación con las características del suelo: Las propiedades físicas y químicas de los suelos hacen que algunos sean más susceptibles que otros a la erosión, entre los que cabe mencionar a los suelos derivados de material granítico y terrazas marinas en la costa, y los suelos derivados de tobas, cenizas volcánicas antiguas y materiales morrénicos. Las propiedades físicas como la textura, la estructura, la permeabilidad y la dispersión, influyen en el comportamiento del suelo. Entre las propiedades químicas destaca la influencia de la materia orgánica que, al favorecer la agregación, mejora la estructura y ofrece mayor resistencia a la dispersión de partículas.

d) Relación con el tipo de material de origen: Los suelos derivados de rocas ígneas y metamórficas ubicados en terrazas marinas, presentan una mayor susceptibilidad a la erosión, los cuales se caracterizan por presentar texturas livianas y muy permeables.

e) Relación con los usos del suelo: El uso al que se somete el suelo, incide directamente sobre la degradación, influyendo en la acción erosiva, tanto de la gota de lluvia, como del agua de escurrimiento.

Otros factores importantes de considerar en la degradación del suelo, son el sobrepastoreo, la deforestación, los incendios forestales y las quemadas agrícolas y forestales. Normalmente, la gran mayoría de las veces, es el hombre el causante de estas acciones, donde el factor común en todos estos casos, es la pérdida de la cubierta vegetal, que deja al suelo expuesto a la acción de la lluvia y el viento, posibilitando la erosión hídrica y/o eólica.

3.2. El agua en el suelo

El agua, al atravesar la superficie del terreno se distribuye por él, quedando sometida a varias fuerzas de cuya intensidad depende el mayor o menor grado de fijación al material sólido (Donoso, 1994).

Desde un punto de vista edáfico, el agua que infiltra puede ser retenida en el sistema poroso, determinando el contenido de humedad del suelo. La humedad del suelo es un factor ecológico de importancia fundamental, en especial aquella fracción de humedad que el sistema radicular de las plantas es capaz de utilizar y que tiene un rol indispensable en los procesos fisiológicos (Zimmermann y Brown, 1980).

Según Donoso (1994), la capacidad de infiltración de un suelo es la permeabilidad al agua que éste tiene, o la habilidad del suelo para aceptar agua y permitir el paso de ella a través de él, lo que depende básicamente de la porosidad y del contenido de humedad del suelo. Así, en suelos arenosos y con grava o piedras, el agua infiltra rápidamente y no tiene oportunidad de escurrir, aún en fuertes pendientes y con intensas lluvias. Por otro lado, los suelos muy arcillosos tienden a hincharse con los primeros milímetros de agua caída, los que sellan los microporos y el agua sólo puede escurrir por la superficie.

Según Pritchett (1986), citado por Pérez (2001), una adecuada humedad del suelo es esencial para el crecimiento de los árboles y para el desarrollo del campo forestal, que la calidad del sitio se determina en gran medida, por aquellas propiedades físicas del suelo que influyen en la humedad del suelo.

Por otra parte y según Donoso (1994), desde un punto de vista físico, el agua en el suelo se divide en tres tipos: agua gravitacional, capilar e higroscópica. Se puede agregar además el agua combinada y el vapor de agua. A continuación se describirán las tres primeras:

a) El Agua Gravitacional: Es la que posee mayor cantidad de energía libre y se mueve a través del perfil, bajo el efecto de gravedad. Los árboles utilizan esa agua en diferentes grados, dependiendo del tipo de raíces, textura del suelo, época del año y estado de humedad del suelo (Daniel *et al.*, 1982). Así, especies que poseen raíces profundas y bien desarrolladas aprovechan el máximo de agua gravitacional, especialmente si se encuentran en suelos de texturas finas; lo contrario ocurre con especies de raíces superficiales. Durante la estación de crecimiento, cuando las raíces están en plena actividad, el agua gravitacional es interceptada y en gran parte utilizada por las raíces, lo que no ocurre durante el periodo de latencia cuando el agua percola fácilmente (Donoso, 1994).

b) El Agua Capilar: Es retenida en poros cuyo radio es suficientemente pequeño como para que las fuerzas capilares sean iguales o mayores que la fuerza de gravedad; éste es el tipo de agua más importante en el suelo, porque constituye la fuente de casi toda el agua que ocupan las plantas (Donoso, 1994)

c) Agua Higroscópica: es la que está adherida a las partículas del suelo, por lo que no puede estar disponible para la vegetación (Donoso, 1994)

3.3. Importancia de la densidad aparente del suelo

Una manera de expresar el peso de un suelo es la densidad aparente, la cual depende en gran medida de la estructura del suelo; por esta razón, debe medirse en muestras no alteradas. Los suelos sueltos y porosos tienen bajas densidades aparentes, en tanto que los suelos compactados tienen altos valores. Por otra parte, las texturas finas, como las de arcillas, tienden a tener valores bajos, en tanto que los suelos arenosos y con rocas tienen, en general, densidades aparentes altas. La presencia de materia orgánica afecta en forma considerable a la densidad aparente, contribuyendo a rebajar los valores, debido a que la materia orgánica facilita la granulación de los suelos, haciéndolos más sueltos y porosos. Los suelos de texturas finas son más ricos en materia orgánica que los de texturas gruesas, lo que es una razón más para que los primeros tengan normalmente densidades aparentes más bajas (Donoso, 1994).

Por otra parte, la humedad del suelo se puede expresar gravimétricamente, con base en la masa o volumétricamente, con base en el volumen. La humedad gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ella la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo (Forsythe, 1975). Frecuentemente se expresa como un porcentaje. Para convertir la humedad gravimétrica a la forma volumétrica hay que corregirla por la densidad aparente del suelo. La humedad del suelo en términos volumétricos es más conveniente para el diagnóstico, por cuanto expresa más claramente el volumen de suelo que está ocupado por agua. En otras palabras, dos suelos pueden tener la misma humedad gravimétrica, pero distinto volumen de agua si las densidades son diferentes (Gil, 2001).

3.4. Obras de conservación de aguas y suelos

Importantes estudios recomiendan el uso de obras de conservación de aguas y suelos para el establecimiento de plantaciones y para la recuperación de suelos degradados; tales obras son los canales de desviación, las zanjas de infiltración, las terrazas, los diques, etc. Esto, con el objetivo de incrementar la productividad del suelo, debido a que capturan el agua y reducen el proceso erosivo. Así por ejemplo y según Rázari (1986), en conservación de suelos, los diseños de ingeniería llamados también medidas mecánicas o estructurales, son hechos por el hombre para estabilizar el suelo contra la acción de los flujos de agua, tratando de mantener una velocidad del agua que no sea erosiva o bien disipar la energía producida por su caída, aparte de otras funciones específicas, como son la de almacenar agua o retener sedimentos.

Las obras de conservación, que se estudian en esta investigación, corresponden a las zanjas de infiltración y el subsolado.

a) Zanjas de infiltración: Son obras que comprende un conjunto de zanjas, construidas de forma manual o mecanizada, cuyo objetivo es capturar y almacenar la escorrentía procedente de las cotas superiores. Se construyen transversalmente a la pendiente, sin desnivel y la sección puede ser trapezoidal o rectangular, aunque se aconseja la primera para evitar derrumbes indeseables (Pizarro *et al*, 2002).

Las zanjas de infiltración no modifican la inclinación del terreno, pero sí la longitud de la pendiente, al seccionar el espacio de escurrimiento total. Con ello, disminuye la erosión hídrica al infiltrarse la escorrentía superficial (Pérez, 2001). Tienen por objetivo disminuir la velocidad de las aguas lluvias, aumentar la infiltración del agua en el suelo, reducir la escorrentía superficial, retener los sedimentos removidos por el flujo hídrico y acumular aguas de las lluvias en el suelo.

Según Rázari (1986), la justificación principal de las zanjas de infiltración, descansa básicamente en el efecto que producen en la estabilidad del suelo, es decir, en su capacidad

para combatir la erosión y como agentes propiciadores de humedad para los fines de reforestación.

b) Subsolado: El subsolado es una técnica de uso común de tratamiento de suelos, que consiste en realizar un surco en la curva de nivel a una profundidad variable, entre los 0.5 m y 1.0 m, para lo cual se emplea una retroexcavadora o un tractor. Luego, la plantación se realiza en los surcos, favoreciendo el desarrollo radicular de las plantas (EIAS, 2002).

Según Durán (1995), citado por Gómez (2000), el subsolado se define como la acción de romper el suelo en profundidad, con el objetivo de facilitar el libre desarrollo radicular, rompiendo las capas del suelo de alta densidad y fracturando capas de concreciones y piedras. Esta práctica, disminuye la compactación del suelo.

En suelos muy compactos, como lo son la mayoría de los suelos forestales del secano interior de la zona central de Chile, el subsolado es una práctica altamente recomendada (Daniel *et al*, 1982).

3.5. Investigaciones y estudios, respecto a las obras de conservación de aguas y suelos y del contenido de humedad en el suelo

Para evaluar el impacto que producen las obras de conservación de aguas y suelos, y eso, con el objetivo de inferir los efectos que provocan en los suelos de las plantaciones y en la retención de agua, se han llevado a cabo investigaciones de relevancia en Chile. Así,

Saavedra (1999) estableció un estudio comparativo en una plantación de *Pinus radiata* (D. Don) de 7 años de edad, en zonas semiáridas del secano costero de la VII

región. Se implementaron dos módulos; una zona testigo y otra implementada con zanjas. Así, se pudo determinar que en la zona con zanjas, los volúmenes totales de biomasa son cuatro veces superiores a la zona sin zanjas de infiltración.

Por otro lado, Morgues (1998) se propuso hacer en 50 ha de pequeños propietarios forestales, una captura de lluvias e incorporación de agua al suelo, con el objetivo de alimentar las napas subterráneas y apoyar una plantación de *Pino radiata*. Para esto, se diseñó una zanja de infiltración de dimensiones reducidas y de fácil construcción en terreno. Como resultado, las zanjas demostraron ser un método muy barato de control de erosión y de captación de agua de lluvia, y un extraordinario complemento de las plantaciones forestales, constituyéndose en una opción perfectamente válida para la forestación de terrenos de alta pendiente o de microrrelieve, que no permiten el trabajo de maquinaria.

Además, Bonilla *et al* (2002) desarrollaron un estudio con el objetivo de caracterizar las precipitaciones y humedad del suelo en tres sitios representativos de las condiciones de Secano Costero, Valle Central y Precordillera de la región del Bío Bío. Los resultados indicaron que la precipitación mensual y las temperaturas medias no presentaron diferencias significativas. Respecto los niveles de humedad disponible en el suelo; los valores registrados en el sitio de la Precordillera fueron en promedio 420 y 440% superiores a los observados en el Valle Central y Secano respectivamente. El elevado contenido de materia orgánica en el sitio de la Precordillera sería la principal causa de este fenómeno. Esta mayor disponibilidad de agua se tradujo en mayores tasas de crecimiento en la plantación forestal. Los resultados obtenidos demuestran la conveniencia de caracterizar el sitio forestal mediante la humedad disponible en el suelo en vez del agua caída.

Pérez (2001), evaluó el impacto de las zanjas de infiltración, en la productividad de bosques establecidos en dos modalidades, con y sin zanjas de infiltración, en el secano costero de la séptima Región, sector Llongocura. Por lo que avaluó tres esquemas de manejo y los llevó a un horizonte que correspondió a la edad de 18 y 21 años de edad. Así,

concluyó que el impacto de las zanjas de infiltración, se traduce en un aumento de los volúmenes totales de madera, en un 61 % promedio.

Por otra parte, Paredes (2002) determinó el efecto del subsolado sobre la distribución espacial y temporal del contenido de agua del suelo en una plantación de *Pinus radiata* (D. Don) de 3 años, ubicada en la zona de Valdivia, en tres situaciones, a saber, sobre las líneas de subsolado, entre las líneas y al lado del árbol; la situación sobre las líneas de subsolado, registró una mayor cantidad de agua aprovechable, especialmente hasta los 150 cm y durante los meses más húmedos.

Otro estudio realizado por Urrutia (2000) en Honduras, con el objetivo de determinar el efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo y el rendimiento de maíz y sorgo en pequeñas fincas de laderas, demostró que para las parcelas con obras de conservación, se registró un mayor rendimiento. En el caso del sorgo, la variedad mejorada dio los mejores resultados (43% más que la criolla). En el análisis económico de la producción, la alternativa de emplear obras de conservación resultó rentable.

4. ANTECEDENTES GENERALES

Esta memoria, se enmarca en el proyecto del Fondo de Desarrollo e Innovación de CORFO, (FDI) N° 00C7FT-08, denominado “Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola”, que desarrolla la Universidad de Talca y cuyo objetivo es aumentar la productividad forestal de los suelos de aptitud forestal del territorio árido y semiárido de las regiones VI, VII y norte de la VIII, mediante la construcción de obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos.

4.1. Antecedentes generales de las regiones del Libertador General Bernardo O’Higgins, del Maule y del Bío Bío

A continuación, se describirá cada Región de manera general, aunque poniendo mayor énfasis en la caracterización de los suelos de la zona costera, para luego describir en forma detallada los lugares en donde fueron ubicados cada uno de los ensayos.

La Región del Libertador General Bernardo O’Higgins, posee un clima templado cálido, donde las lluvias invernales se concentran entre los meses de mayo y agosto. Las precipitaciones son de 563 mm anuales promedio; además, se presentan amplias diferencias entre la costa y sus valles interiores.

Posee una vegetación arbustiva de *Acacia caven* en la depresión intermedia, mientras que en los sectores de la Cordillera de la Costa y de los Andes debido a la mayor humedad, se desarrolla un Bosque esclerófilo de boldos y peumos, el que sobre los 1400 metros sobre el nivel del mar da paso a bosques de robles (*Nothofagus obliqua*). Sin embargo, la vegetación natural se encuentra muy alterada y degradada por la acción humana (CONAMA, 2004).

En la costa se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. En tanto, en el lado poniente de la cordillera de la costa, los suelos presentan su origen en rocas graníticas con un alto contenido de arcilla en profundidad.

Con respecto a la región del Maule, se caracteriza por presentar un clima templado, con precipitaciones promedio anuales de 784 mm y con amplias diferencias entre la costa y sus valles interiores.

La vegetación dominante registra variaciones, especialmente en sentido oeste-este, hacia la Cordillera de la Costa; en el margen oriental, domina la estepa de *Acacia caven* o espino y abundante matorral esclerófilo (quillay, litre, boldo y peumo) en los sectores más húmedos. Luego, en los sectores de la precordillera de los Andes se desarrolla el Bosque Esclerófilo (Maitén, Quila, Quillay, Peumo y Boldo) que se ubica entre los 400 y 600 metros de altura. Sobre los 600 metros, se encuentran los bosques de *Nothofagus* denominado Bosque Maulino, con especies como Canelo, Lingue, Olivillo, coigue. Asimismo, entre los 800 y 1000 metros se desarrolla el bosque de *Nothofagus*, asociado con canelo, olivillo y mañío y sobre los 1.200 metros, en la Cordillera de Los Andes, se ubica el bosque de Robles (*Nothofagus obliqua*). Finalmente, por sobre los 2.000 metros de altura se localizan Cedros o Ciprés de la Cordillera y, por sobre estas especies, aparece la estepa andina de arbustos bajos y gramíneas (CONAMA, 2004).

Por otra parte, en la costa se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. En tanto, en el lado poniente de la cordillera de la costa, los suelos presentan su origen en rocas graníticas con un alto contenido de arcilla en profundidad.

Finalmente, la región del Bío Bío se caracteriza por presentar un clima del tipo mediterráneo y precipitaciones anuales sobre 1000 mm, concentradas entre abril y noviembre.

Las características climáticas en su extremo norte, permiten la existencia del espino, asociado con boldo, peumo y quillay. En cambio, hacia el sur se encuentra el bosque esclerófilo, donde hoy es posible apreciar el cambio que se ha producido en la vegetación natural por las plantaciones forestales de pinos y por cultivos agrícolas. Al sur del río Bío Bío, se ubica el bosque templado higromórfico, principalmente en la Cordillera de la Costa y en la precordillera andina, donde predominan especies como roble, ciprés, coigüe, lenga y ñirre; en los sectores con mayores alturas es posible encontrar alerce y mañío. Además, está acompañado por un denso sotobosque formado por canelo, olivillo, avellano y especies menores como el copihue, quila y ulmo (CONAMA, 2004).

En la cordillera de Nahuelbuta se encuentra el bosque de Araucarias asociados con especies como coigüe, lenga y ñirre (CONAMA, 2004).

En la costa se presentan suelos derivados de terrazas marinas y de relieve plano a ligeramente inclinado de colores pardo rojizos asociados a otros con menor evolución. En las partes altas de la Cordillera de la Costa son delgados y presentan problemas de drenaje.

4.2. Ubicación y especificación de los ensayos

En la Tabla N° 1, se muestran los lugares donde fueron ubicados cada uno de los ensayos, además de la exposición y pendiente que estos poseen.

TABLA N°1. LUGARES DE LOS ENSAYOS Y ANTECEDENTES DE EXPOSICIÓN Y PENDIENTE MEDIA

SECTOR	PREDIO	EXPOSICIÓN	PENDIENTE
VI Región			
Hidango	Predio Paso Ancho	Noroeste	16 %

La Rosa	Predio San Carlos	Este	15 %
Pumanque	Hijuela 2 al Llope	Oeste	15 %
VII Región			
Name	Hijuela N°2 Las Mercedes	Norte	13 %
Parrón	Predio Parrón	Norte y Oeste	20 %
Botacura	Predio Botacura	Oeste y Noroeste	23 %
VIII Región			
Llohué	Predio Llohué	Noroeste	22 %
Manzanares	Fundo Manzanares	Noroeste	20 %

Fuente: Proyecto EIAS.

A continuación se muestran los mapas de cada Región, con la ubicación de los ensayos, y posteriormente una breve descripción de cada uno de éstos.

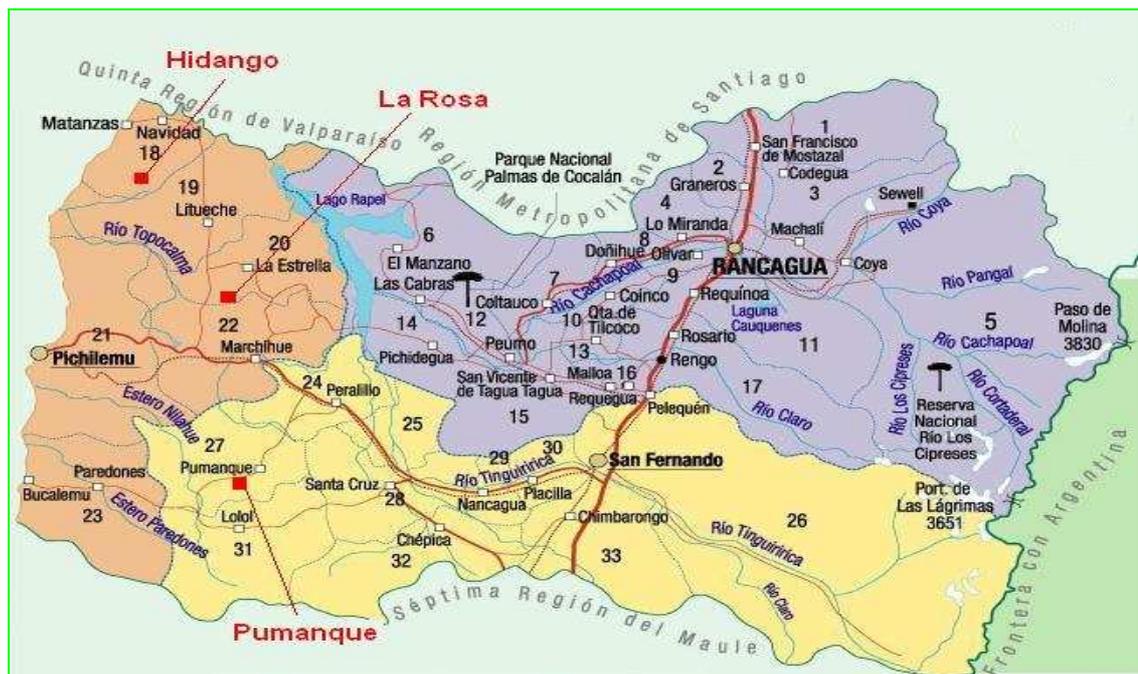


FIGURA N° 1. MAPA VI REGIÓN DEL LIB. GRAL. BERNARDO O'HIGGINS

Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

En la Figura N° 1, se muestra la ubicación de los sectores La Rosa, Hidango y Pumanque, en donde fueron establecidos los ensayos, pertenecientes a la VI Región.

Hidango (Predio Paso Ancho): El predio pertenece al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), y su uso anterior era el pastoreo. Su cubierta es de especies herbáceas y algunos ejemplares de zarzamora. Se llega desde Litueche, donde se toma el camino a Topocalma, hasta Hidango; luego, se sigue un camino interior durante 2 Km, hasta llegar al ensayo. La vía de acceso es bastante accesible incluso en invierno. El relieve corresponde a un lomaje suave y bastante regular. En cuanto a los suelos, éstos presentan una textura franco arcillo arenoso.

La Rosa (Predio San Carlos): Pertenece a la sucesión Leiva León. Se llega por el camino que va de Marchigue a Pichilemu, hasta llegar al cruce La Rosa. Luego, se sigue en dirección norte, y aproximadamente a 2 Km se toma un camino interior hacia la costa; el ensayo se ubica en la parte alta de un cerro. Su accesibilidad es buena durante todo el año. El ensayo se dividió en 2 módulos, ubicados en laderas distintas, los dos con exposición este. Los suelos presentan una textura franco arcilloso.

Pumanque (Hijuela 2 al Llope): Su uso anterior era pastoreo extensivo, con una cubierta de especies herbáceas, sin presencia de arbustos. La vía de acceso es por el camino que une Pumanque - Lolol; luego, se sigue en dirección hasta el cruce Llope y después de este punto, se toma el camino hacia el cerro, subiendo aproximadamente 2 Km para llegar al ensayo. Se ubica al lado de un camino interior y su accesibilidad es buena en verano y regular en invierno. Corresponde a un lomaje suave con un relieve más o menos regular. Los suelos tienen una textura franco arcillo arenoso.

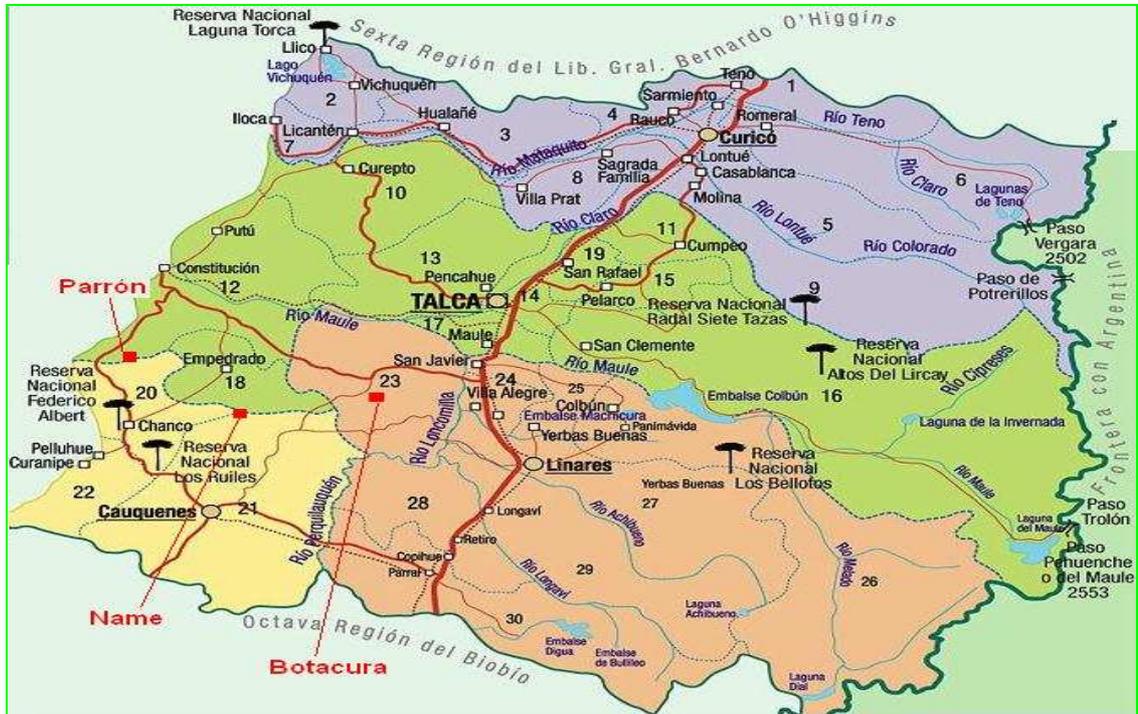


FIGURA N° 2. MAPA VII REGIÓN DEL MAULE

Región del Maule

En la Figura N° 2, se muestra la ubicación de los sectores Parrón, Name y Botacura, en donde fueron establecidos los ensayos, pertenecientes a la VIII Región.

Name (Hijuela N° 2 Las Mercedes): Este predio pertenece a un pequeño propietario, el Sr. Orlando González, y el lugar de ensayo corresponde a una pradera con cubierta herbácea y algunos arbustos, principalmente de espino. El uso anterior fue de pastoreo. Para llegar se toma la Ruta Los Conquistadores desde San Javier y, en el Km 35 se desvía hacia Sauzal, posteriormente, se toma el desvío hacia Ciénagas de Name, tomando la mano derecha hacia San Juan de Name. Su accesibilidad es buena durante todo el año. Los suelos presentan una textura franco arcillo arenoso.

Predio Parrón: Este predio pertenece a la empresa Forestal Bosques de Chile y al igual que el anterior, fue explotado durante el año 2001. Se llega por la carretera que une Constitución- Chanco; luego, se sigue al sur del cruce Viñales, hasta el puente Parrón. El ensayo se encuentra al lado del camino en la parte media alta de un cerro. Los suelos tienen una textura arcillosa.

Predio Botacura: Este predio pertenece a Bosques de Chile y el lugar de ensayo presentaba una plantación de *Pinus radiata* adulto, que fue talado durante el año 2001. Se llega desde el camino Talca – Constitución y al llegar al cruce Fundo Villavicencio, se sigue al sur durante 14 Km, su accesibilidad es buena durante todo el año. El ensayo se encuentra dividido en dos módulos cercanos entre sí, y ambos con exposición oeste (subsulado y zanjas) y el otro más pequeño con exposición norte (zanjas). Los suelos presentan una textura franco arenoso.



FIGURA 3. MAPA VIII REGIÓN DEL BÍO BÍO.

Región del Bío Bío

En la Figura N° 3, se muestra la ubicación de los sectores Manzanares y Llohué, en donde fueron establecidos los ensayos, pertenecientes a la VIII Región.

Predio Llohué: Este predio pertenece a la empresa Forestal Millalemu y el lugar de ensayo fue explotado durante el año 2001, de una plantación de pino radiata adulto. Se llega por el camino de Quirihue hacia la cordillera andina, hasta el sector de Llohué. Su accesibilidad es regular en invierno. El ensayo se encuentra al lado del camino en la parte alta de un cerro. Los suelos presentan una textura franco arcilloso.

Predio Manzanares: Este predio pertenece a la empresa Bosques Villanueva y el lugar de ensayo, históricamente ha sido usado para siembra de trigo. Se ubica al lado de la carretera que une Quirihue y Ninhue, a 33 Km aproximadamente de Quirihue. Su accesibilidad es buena durante todo el año. Presenta un lomaje suave. La textura de los suelos es franco arcillosa.

5. METODOLOGÍA

5.1. Pasos metodológicos

5.1.1. Revisión bibliográfica

En esta etapa se realizó la recopilación de información referente a estudios y publicaciones relacionados con las técnicas de conservación de aguas y suelos, asociadas a plantaciones forestales, además de definiciones y conceptos importantes concernientes a esta memoria. Esta información se obtuvo a través de libros, revistas y sitios de internet.

5.1.2. Establecimiento de los ensayos

La implementación de los ensayos se realizó en marzo del año 2002, en el secano costero y secano interior de las regiones del Libertador General Bernardo O'Higgins, del Maule y del Bío Bío, en ocho zonas diferentes, donde, en cada uno de éstas se estableció una plantación de *Pinus radiata* (D. Don), asociada a la construcción de obras de conservación, las cuales son zanjas de infiltración y subsolado, además de una unidad testigo, la cual no presenta ningún tipo de tratamiento de suelos.

5.1.3. Ubicación y especificaciones de las obras de conservación

Se implementaron dos tipos de zanjas, según sus dimensiones; tipo 1, con 20 cm de base y 30 cm de altura y, tipo 2, con 30 cm de base y 30 cm de altura. Además, se realizaron dos tipos de subsolado, los que se diferenciaron exclusivamente por el distanciamiento entre líneas de subsolado; del tipo 1, con 4 m y, del tipo 2, con 5 m. Las zanjas y el subsolado fueron instalados en curvas de nivel; así, en la Tabla N° 2 se observa la ubicación por Región de cada ensayo y el tipo de obra asociada.

TABLA N° 2. LUGARES DE ENSAYO SEGÚN REGIÓN Y OBRA DE CONSERVACIÓN CONSTRUIDA

Sector	OBRA IMPLEMENTADA
VI Región	
Hidango	Zanjas tipo 1 y 2; y Subsolado tipo 1 y 2
La Rosa	Subsolado tipo 1 y 2
Pumanque	Zanjas tipo 1 y 2
VII Región	
Name	Zanjas tipo 1 y 2
Parrón	Zanjas tipo 1 y 2; Subsolado tipo 1 y 2
Botacura	Zanjas tipo 1 y 2; Subsolado tipo 1 y 2
VIII Región	
Llohué	Zanjas tipo 1 y 2
Manzanares	Zanjas tipo 1 y 2; Subsolado tipo 1 y 2

Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Toma de muestras en terreno

Para determinar el contenido de humedad, se recolectaron muestras de suelo, las que fueron tomadas mensualmente desde enero del año 2003, hasta noviembre del año 2003, las cuales se obtuvieron de cada ensayo.

Para obtener las muestras se realizaron calicatas, de las cuales se extrajeron porciones de agregados de suelo. Los puntos de toma de muestras, en donde se hicieron las calicatas, se ubicaron en la zona alta y baja de cada ensayo, denominados arriba y abajo de cada zona donde se establecieron las obras de conservación (zanja de infiltración y subsolado), y de la unidad testigo, para efectos de comparación. De esta forma, en cada calicata, las muestras se obtuvieron a dos profundidades, a saber, 30 cm y 60 cm del perfil. Una vez obtenidas las muestras, se taparon las calicatas con tierra, para luego al siguiente mes volver a cavar en el mismo lugar haciendo un pequeño ensanche horizontal, con el propósito de que las nuevas muestras no fueran de suelo removido, y así tener la certeza de que éstas eran representativas del lugar. De ésta manera, en la Figura N° 1, se presenta un dibujo esquemático de la ubicación espacial en donde se efectuó la toma de las muestras de suelo.

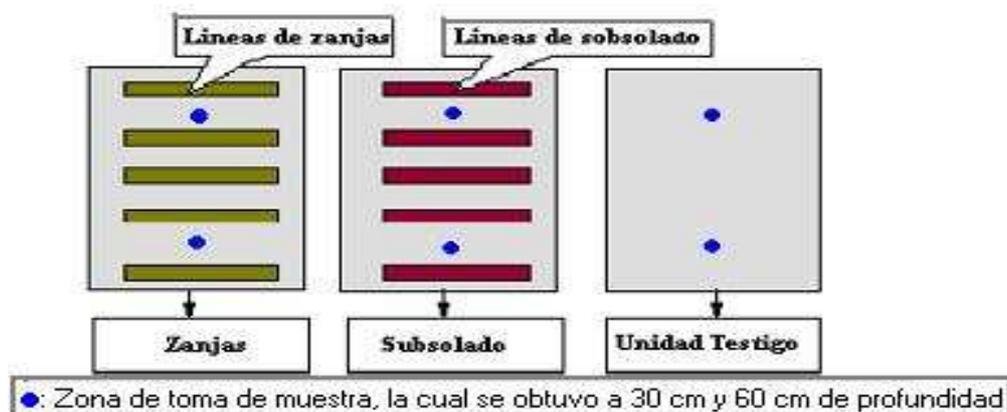


FIGURA N° 1. ESQUEMA ESPACIAL REPRESENTATIVO DE LA TOMA DE MUESTRAS

Una vez tomadas las muestras de suelo, se fueron incorporando en cápsulas de aluminio, las que debieron ser debidamente selladas, para así poder ser transportadas en óptimas condiciones hacia el laboratorio, en donde se calcularon los contenidos de humedad del suelo.

5.1.5. Cálculo del contenido de humedad

En los siguientes puntos se describirá cómo se calculó el contenido de humedad gravimétrico y el contenido de humedad volumétrico de las muestras (cápsulas metálicas que contienen el suelo recolectado) obtenidas en terreno.

a) Cálculo del contenido de humedad gravimétrico

Para determinar el contenido de humedad gravimétrico, se utilizó el método tradicional, el que consiste en el secado de las muestras en un horno con circulación de aire, debiendo mantenerse a 105° celsius durante 24 hr., las que debieron ser pesadas en una balanza antes y después del secado. De esta forma, el contenido de humedad es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente en una determinada masa de suelo y el peso de las partículas sólidas (Forsythe, 1975). Esto es:

$$CH_G = \frac{(Ph - Ps)}{(Ps - Pr)} \times 100$$

Donde: CH_G = contenido de humedad gravimétrico de la muestra (%)

Ph = peso de la cápsula más la muestra de suelo húmedo (gr)

Ps = peso de la cápsula más la muestra de suelo seco (gr)

Pr = peso de la cápsula vacía (gr)

b) Cálculo del contenido de humedad volumétrico

Según Forsythe (1975), la humedad volumétrica se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CH_V = CH_G \times Da$$

Donde: CH_V = contenido de humedad volumétrico (%)

CH_G = contenido de humedad gravimétrico (%)

Da = densidad aparente, (gr/cm^3)

Para obtener el contenido de humedad volumétrico, como se puede observar en la ecuación anterior, se debió determinar la densidad aparente, de esta forma, en el punto siguiente se describe cómo se llegó a éste resultado.

- Obtención de muestras y cálculo de densidad aparente

Para la obtención de la densidad aparente, se recolectaron muestras de suelo, las cuales se obtuvieron de calicatas construidas en la zona alta y baja de cada tratamiento a una profundidad de 60 cm, esto se repitió en cada uno de los ensayos. Así, para la extracción de las muestras de suelo, se empleó un barreno de metal con doble cilindro de acero, el cual

debió ser introducido cuidadosamente en el perfil para conservar el volumen de la muestra *in situ*. Luego las muestras de suelo fueron transportadas al laboratorio para ser secadas a 105° y posteriormente pesadas (Blake y Hartage, 1985).

5.1.6. Análisis estadístico preliminar

Los primeros análisis del contenido de humedad, se realizaron con la información de humedad gravimétrica, con lo que se construyeron las gráficas que presentaban cómo se comportaba el contenido de humedad en función del tiempo. A partir de esto, se pudo observar que el comportamiento de los datos presentaba ciertas anomalías, ya que existían fluctuaciones a través del tiempo que no describían el tipo de comportamiento esperado. Por esto, se debió replantear el análisis y buscar un método más adecuado para el estudio en cuestión. De esta forma, al revisar la literatura existente, se determinó que era conveniente realizar los análisis con los datos del contenido de humedad volumétrico, por lo que se debió medir la densidad aparente, ya que, como la densidad es el peso de un volumen de suelo, la ponderación de éste por el contenido de humedad gravimétrico, define la proporción de humedad que está dentro del volumen de suelo, lo que hace que los datos sean más representativos.

Con el conjunto de los datos del contenido de humedad volumétrica, se realizaron análisis de varianzas (ANOVA), para los distintos ensayos, tomando las variables de profundidad y de lugar como repeticiones de datos. Además, se realizaron pruebas para verificar los supuestos de homocedasticidad (aplicando el test de Bartlett's) y de normalidad (aplicando el test de Shapiro Will), los cuales resultaron satisfactorios (ver Apéndice N° 1). De esta forma, el análisis estadístico consistió en determinar las diferencias bajo los distintos tratamientos, los cuales son zanjas tipo 1, zanjas tipo 2, subsolado tipo 1, subsolado tipo 2 y la unidad testigo. Las combinaciones de los tratamientos dependen de la disposición de cada ensayo, como se especificó anteriormente. Sin embargo, después de

concluido el análisis se observó que al tomar el conjunto de los datos como repeticiones, existía gran heterogeneidad dentro del grupo de datos de cada tratamiento, lo que se observó realizando gráficas de cada variable por separado; así, se determinó que el análisis multifactorial con interacción era lo más adecuado para el diseño experimental, ya que satisfacía de mejor forma la dinámica del comportamiento del contenido de humedad de los suelos tratados, y además, se podía evidenciar cómo cada variable incidía en el comportamiento del contenido de humedad.

5.1.7. Análisis multifactorial con interacción

Un experimento factorial permite, en esencia, la separación y la evaluación de los factores que afectan a una sola unidad experimental. Además, esto permite la detección de los efectos de interacción entre dos o más factores (Scheffler, 1985).

Por otra parte, antes de realizar el análisis, se debió aplicar a los datos la transformación arcoseno, la que se recomienda hacer cuando se aplican pruebas paramétricas a datos en forma de porcentajes. Es importante mencionar que la transformación se debe considerar simplemente como un cambio en la escala de medición, que puede ayudar a que los datos satisfagan las suposiciones de una dócima (Scheffler, 1985).

Lo anterior, es ratificado por Montgomery (2004), quien menciona que para los modelos de efectos aleatorios, las varianzas del error pueden introducir alteraciones significativas en las inferencias sobre los componentes de la varianza; para abordar este problema se aplican transformaciones.

Para realizar la transformación se aplicó la siguiente ecuación:

$$T = \text{Arcoseno} \times \sqrt{(CHv \div 100)}$$

Donde: **T** = Valor transformación

CHv = Contenido de humedad volumétrico (%)

5.1.7.1. Determinación de las variables evaluadas

Para realizar el análisis, se definió a los tratamientos, la profundidad, la posición espacial y el tiempo, como factores; además, cada factor posee niveles. De esta manera, el factor tiempo posee 11 niveles (meses); el factor tratamiento posee distintos niveles, los cuales corresponden al tipo obras establecidas, según el ensayo, los que son zanjas, subsolados y la unidad testigo; el factor profundidad presenta 2 niveles, los cuales son 60 cm y 30 cm y, finalmente, en el factor de la posición espacial, se definieron 2 niveles, los que son arriba y abajo de cada ensayo (ver Tabla N° 3). Además se realizaron interacciones de dos factores para evaluar el comportamiento del contenido de humedad bajo distintas situaciones, donde se evaluaron las interacciones tratamiento – tiempo, profundidad – tiempo, tratamiento - ubicación, profundidad – tratamiento y profundidad – ubicación.

TABLA N° 3. FACTORES Y NIVELES

Factores	NIVELES				
	Tratamientos *	Zanja tipo1	Zanja tipo 2	Subsolado tipo 1	Subsolado tipo 2
Profundidad	60 cm	30 cm			
Posición espacial	Arriba	Abajo			
Tiempo	enero 2003- noviembre 2003				

* Estos niveles varían según el ensayo que se analiza

Por otra parte, al realizar el análisis estadístico preliminar, se detectó que la exposición influía en el comportamiento del contenido de humedad, por lo que los ensayos que estaban seccionados en módulos, y estaban ubicados en distinta exposición, se debieron tomar como ensayos independientes; de esta forma, los ensayos que se muestran en la Tabla N° 4, son los que fueron analizados. Así, se puede observar que Parrón y Botacura debieron ser seccionados en dos ensayos distintos.

TABLA N° 4. EXPOSICIÓN DE LOS ENSAYOS CON SUS RESPECTIVOS TRATAMIENTOS

Ensayos	Exposición	Tratamientos
Hidango	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2; Subsulado 1 y 2
La Rosa	Este	Testigo; Subsulado 1 y 2
Pumanque	Oeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2
Name	Norte	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2
Parrón*	Norte	Zanjas tipo 1 y 2
Parrón*	Oeste	Testigo; Subsulado 1 y 2
Botacura*	Oeste	Testigo; Zanjas tipo 1
Botacura*	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 2; Subsulado 1 y 2
Llohué	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2
Manzanares	Noroeste	Testigo; Zanjas tipo 1 y 2; Subsulado 1 y 2

* Ensayos que debieron ser seccionados

5.1.7.2. Verificación de supuestos para aplicar modelos paramétricos

Cuando el análisis estadístico que se desea aplicar está determinado por muchas variables, un procedimiento en extremo útil para saber si no se está violando el supuesto de independencia, y así poder aplicar modelos paramétricos, consiste en realizar gráficas de los residuales contra los valores ajustados; ésta gráfica no deberá mostrar ningún patrón obvio, demostrándose que los datos cumplen con este supuesto (Montgomery, 2004).

5.1.7.3. Modelo utilizado

En función de las variables consideradas y del conjunto de las interacciones que de éstas se desprende, fue necesario utilizar un modelo que permitiera realizar comparaciones para detectar interacciones. A continuación, se presenta la expresión matemática correspondiente al modelo lineal multifactorial de cuatro factores, con interacción múltiple, que será utilizado en este estudio.

$$Y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\tau\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde: $i = 1, 2, \dots, a$ (a, cambia según el número de tratamientos)

$$J = 1, 2$$

$$K = 1, 2$$

$$L = 1, 2, \dots, 11$$

$$M = 1, 2, \dots, n \text{ (donde } n \text{ es el número total de observaciones)}$$

Donde: μ : efecto del promedio global del contenido de humedad del suelo

τ_i : efecto del nivel i -ésimo del factor tiempo (A)

β_j : efecto del nivel j -ésimo del factor profundidad (B)

γ_k : efecto del nivel k -ésimo del factor tratamiento (C)

δ_l : efecto del nivel l -ésimo del factor ubicación (D)

$(\tau\beta)_{ij}$: efecto de la interacción entre el factor tiempo (τ_i) y la profundidad (β_j)

$(\tau\gamma)_{ik}$: efecto de la interacción entre el factor tiempo (τ_i) y el tratamiento (γ_k)

$(\tau\delta)_{il}$: efecto de la interacción entre el factor tiempo (τ_i) y la posición (δ_l)

$(\beta\gamma)_{jk}$: efecto de la interacción entre el factor profundidad (β_j) y el tratamiento (γ_k)

$(\beta\delta)_{jl}$: efecto de la interacción entre el factor profundidad (β_j) y la posición (δ_l)

$(\gamma\delta)_{kl}$: efecto de la interacción entre el factor tratamiento (γ_k) y la posición (δ_l)

ε_{ijklm} : componente del error aleatorio

De acuerdo con el modelo propuesto, en el Anexo N° 1 se presenta la tabla del análisis de varianza y, además, las fórmulas para calcular los componentes del análisis.

Las hipótesis asociadas a cada fuente de variación son expresadas como:

H₀: Los efectos de los factores de los modelos sobre la media son iguales

H₁: Los efectos de los factores de los modelos son distintos; es decir, al menos uno de los factores difiere significativamente de los demás

También existe interés en determinar si los factores interactúan. Por lo tanto, también querría probarse que:

H₀: Los efectos de los factores de los modelos de las interacciones son iguales

H₁: Los efectos de los factores de los modelos de las interacciones son distintos, ya que al menos uno de los factores de las interacciones difiere significativamente de los demás

El criterio para determinar la significancia estadística se realizó en función del valor p , de esta forma, si el valor p es menor o igual que el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, entonces se deberá rechazar la hipótesis H_0 (Montgomery, 2004).

5.1.7.4. Comparación del contenido de humedad entre los distintos tratamiento

Para comparar el contenido de humedad entre tratamientos de cada uno de los ensayos, se aplicó el test de Tukey, ésto se realizó fundamentalmente para complementar la información del análisis multifactorial, y así poder cuantificar por medio de las comparaciones de medias por pares, cuál fue el tratamiento que presentó mayor contenido de humedad.

El procedimiento de Tukey, hace uso de la distribución del estadístico del rango según la t de Student, la cual corresponde a la siguiente ecuación

$$q = \frac{\bar{y}_{\text{máx}} - \bar{y}_{\text{mín}}}{\sqrt{\frac{MS_E}{n}}}$$

Donde: $\bar{y}_{\text{máx}} - \bar{y}_{\text{mín}}$ = medidas muestrales mayor y menor, sacadas del conjunto de datos

MS_E = cuadrado medio del error

n = número de observaciones

La prueba de Tukey declara que dos medias son significativamente diferentes si el valor absoluto de sus diferencias muestrales excede a T_α . Así, para llevar a cabo la prueba de Tukey se calcularon los T_α , donde el $q_\alpha(a, f)$, es obtenido de tabla (Taucher, 1997). Por lo tanto, cualquier par de promedios de los tratamientos que difieran en valor absoluto por más de éste, implicaría que el par correspondiente de medias poblacionales son significativamente diferentes.

De esta forma, T_α se obtiene de la siguiente expresión:

$$T_\alpha = q_\alpha(a, f) \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

Donde: f = número de grados de libertad asociados con MS_E

a = numero de tratamientos

$q_\alpha(a, f)$ = valor de tabla asociado al α de 0.05

Las hipótesis se definen como:

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$$

Donde: μ_i = promedio global de la variable i

μ_j = promedio global de la variable j

5.1.8. Presentación y análisis de resultados

En esta etapa se exponen los resultados obtenidos del análisis que se le efectuaron a los datos. Además, para entender más ampliamente el comportamiento del contenido de humedad, respecto de los diferentes factores de interacción, se presentan en conjunto con los resultados del análisis las gráficas que combinan cada situación.

5.1.9. Conclusiones y recomendaciones

En esta fase se realizaron las conclusiones y recomendaciones relacionadas con los objetivos planteados, además de determinar la factibilidad del método utilizado, para poder recomendar la efectividad del uso de las obras de conservación, respecto al contenido de humedad del suelo.

5.2. Materiales y equipos

Para la obtención de datos se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Vehículo para salidas a terreno
- Horno de secado
- Cápsulas metálicas
- Barreno con doble cilindro
- Balanza de precisión
- Planillas de datos

Además, para el análisis de los datos se utilizaron:

- Equipos computacionales (PC, impresoras)
- Programas computacionales (Microsoft Word y Microsoft Excel)
- Programa estadístico Statgraphics Plus versión 1.4.

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1 Resultados de densidad aparente

A continuación, y como primera parte de este capítulo, se presentan los resultados de densidad aparente obtenidos de cada ensayo (ver Tabla N° 5), ya que como se señaló en la metodología, estos datos fueron necesarios para obtener el cálculo de contenido de humedad volumétrico.

TABLA N° 5. DENSIDAD APARENTE OBTENIDOS DE CADA ZONA ASOCIADA A LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS EN CADA ENSAYO (gr/cm³)

Sector	Tratamiento	Da	
		A	B
Parrón	Testigo	1,37	1,48
	Subsolado 1	1,60	1,52
	Subsolado 2	1,37	1,85
	Zanja Tipo 1	1,34	1,91
	Zanja Tipo 2	1,35	1,16
La Rosa	Testigo 1	1,87	1,55
	Testigo 2	1,72	1,49
	Subsolado 1	1,45	1,87
	Subsolado 2	1,78	1,81
Name	Testigo 2	1,90	2,00
	Zanja Tipo 1	1,75	1,39
	Zanja Tipo 2	1,81	1,64
Botacura	Testigo 1	1,38	1,62
	Testigo 2	1,53	1,74
	Subsolado 1	1,32	2,01
	Subsolado 2	1,97	1,74
	Zanja Tipo 1	1,64	1,59
	Zanja Tipo 2	1,43	1,89
Hidango	Testigo	1,59	1,72
	Subsolado 1	1,52	1,43
	Subsolado 2	1,55	1,76
	Zanja Tipo 1	1,64	1,39
	Zanja Tipo 2	1,89	1,54
Pumanque	Testigo 1	1,64	1,8
	Testigo 2	1,67	1,91
	Zanja Tipo 1	1,49	1,83
Llohué	Testigo	1,27	1,71
	Zanja Tipo 1	1,88	1,45
	Zanja Tipo 2	2,03	1,56
Manzanares	Testigo 1	1,79	1,63
	Testigo 2	1,78	2,08
	Subsolado 1	1,85	1,77
	Subsolado 2	1,79	1,65
	Zanja Tipo 1	1,74	1,69
	Zanja Tipo 2	1,88	1,75

A: zona de arriba de cada ensayo; B: zona de debajo de cada ensayo.

6.2. Verificación del supuesto de homocedasticidad

Para verificar el supuesto de independencia, se realizaron gráficas de residuos en función de los valores ajustados. De esta forma, en la Figura N° 1 se observa, a modo de ejemplo, la gráfica correspondiente al ensayo Pumanque, donde se aprecia claramente que los datos no presentan ningún tipo de tendencia, verificándose así que la aplicación del modelo es correcta.

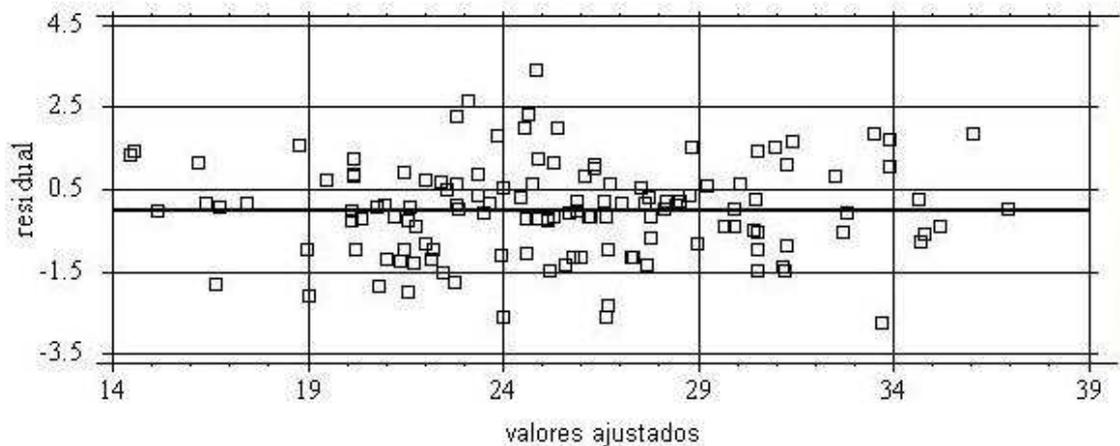


FIGURA N° 1. GRÁFICA DE RESIDUOS CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO PUMANQUE

En el Apéndice N° 2 se presentan los gráficos de los residuos para los demás ensayos, donde se observa que los datos no muestran estructura alguna, verificándose que no hay razón para sospechar cualquier violación del supuesto de independencia. Cabe recordar que en el análisis preliminar se realizaron pruebas para verificar los supuestos de normalidad y de homocedasticidad, probándose que en general, los datos de todos los ensayos cumplen con estas características.

6.3. Análisis multifactorial con interacción

El análisis del modelo general, que fue aplicado a cada ensayo, se presenta en el Apéndice N° 3, donde se observa que los valores p, para los factores evaluados, arrojaron un valor menor a 0.05, lo que permite inferir que existen diferencias estadísticamente significativas entre éstos. Lo anterior, verifica la importancia de evaluar la interacción entre los factores, pudiendo así, desarrollar un análisis más a fondo respecto del comportamiento del contenido de humedad. De esta forma, a continuación se presentan los resultados del análisis multifactorial, donde se muestran los valores p obtenidos de las interacciones entre la combinación de los distintos factores de los análisis estadísticos realizados para cada ensayo. Conjuntamente, se muestran los gráficos de la interacción entre las variables evaluadas.

6.3.1. Interacción tratamiento - tiempo

TABLA N° 6. VALORES P OBTENIDOS DE LA INTERACCIÓN TRATAMIENTO TIEMPO, PARA CADA ENSAYO

Nombre ensayo	Valor p	Decisión
Hidango	0,8074	No hay interacción
La Rosa	0,1831	No hay interacción
Pumanque	0,0089	Sí hay interacción
Name	0,0093	Sí hay interacción
Parrón oeste	0,0028	Sí hay interacción
Parrón norte	0,4837	No hay interacción
Botacura oeste	0,6222	No hay interacción
Botacura noroeste	0,0003	Sí hay interacción
Llohué	0,3919	No hay interacción
Manzanares	0,2014	No hay interacción

En la Tabla N° 6 se observa que los ensayos de Pumanque, Parrón exposición Oeste, Botacura exposición Noroeste y Name, presentan valores p menores a 0.05, por lo que se evidencia que si hay interacción estadísticamente significativa; esto quiere decir que en estos ensayos, el contenido de humedad de cada tratamiento, varía en función de los meses. Lo anterior, se muestra gráficamente en las Figuras N° 1, 4, 6 y 8, donde se puede observar que las curvas del contenido de humedad de cada tratamiento poseen una trayectoria diferente.

Por otra parte, los ensayos restantes arrojaron valores p mayores a 0.05 (ver Tabla N° 6), por lo que se verifica que no existe interacción entre los factores evaluados. Además, en las Figuras 2, 3, 5, 7, 9 y 10, se muestran las gráficas de estos ensayos; donde se aprecia que las curvas del contenido de humedad de los distintos tratamientos poseen un comportamiento similar en función del tiempo.

Además, en términos generales y según los gráficos, se observa que el contenido de humedad aumenta en los meses de junio y julio, para luego descender en los meses posteriores, a excepción de Parrón Norte y Oeste (Figura N° 5 y 6), en donde se muestra que el contenido de humedad aumenta en el mes de junio y luego, en los siguientes meses presenta un pequeño descenso con algunas fluctuaciones; esto se puede explicar por la ubicación del ensayo respecto a la cercanía con el mar, lo que provoca un efecto de termorregulación.

Finalmente, en las gráficas, se puede ver también, cuáles son los tratamientos que presentan mayor contenido de humedad a lo largo del tiempo; esto independiente de la interacción. Así por ejemplo, en el sector Botacura exposición Oeste, se aprecia claramente que zanjas tipo 2 presenta mayor contenido de humedad que la unidad testigo, durante todos los meses evaluados (ver Figura 2).

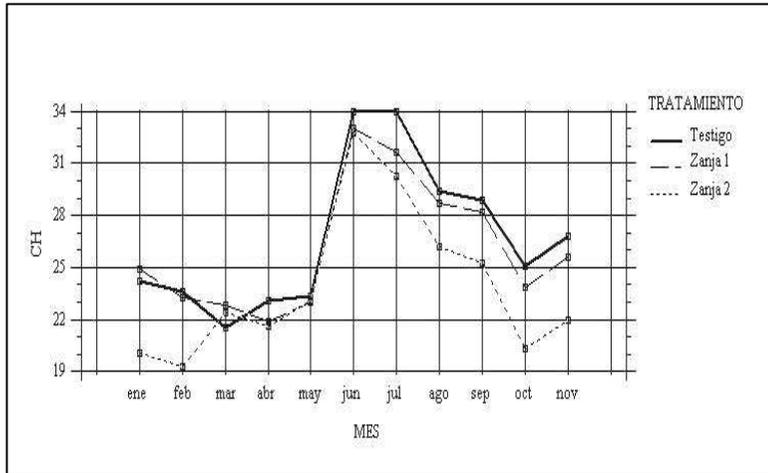


FIGURA N° 1. INTERACCIÓN PUMANQUE

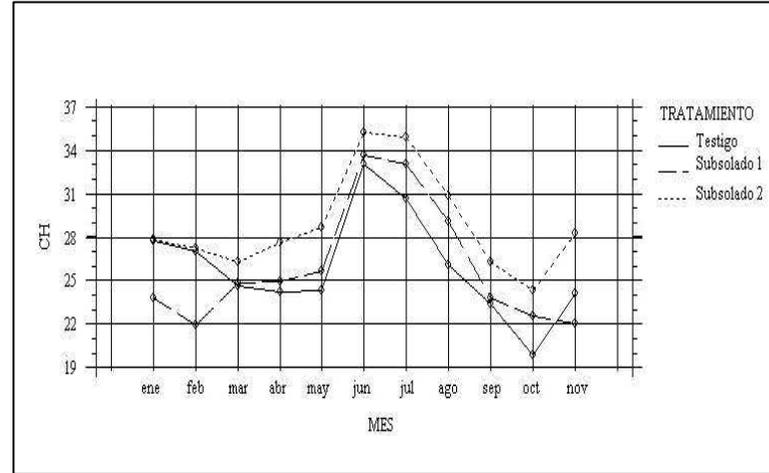


FIGURA N° 2. INTERACCIÓN LA ROSA

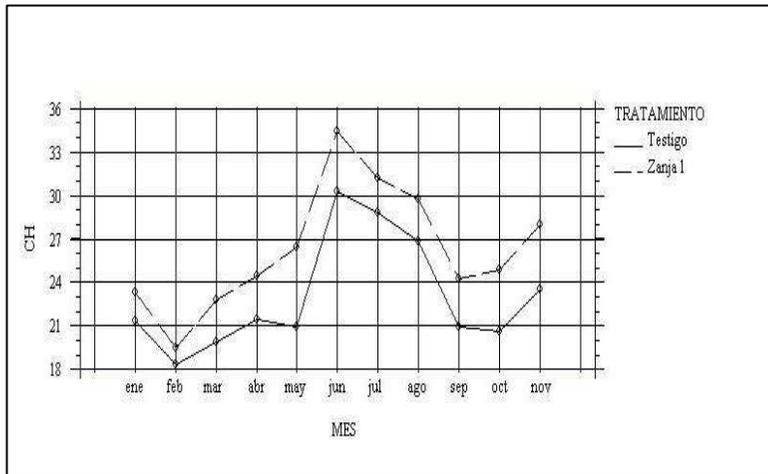


FIGURA N° 3. INTERACCIÓN BOTACURA OESTE

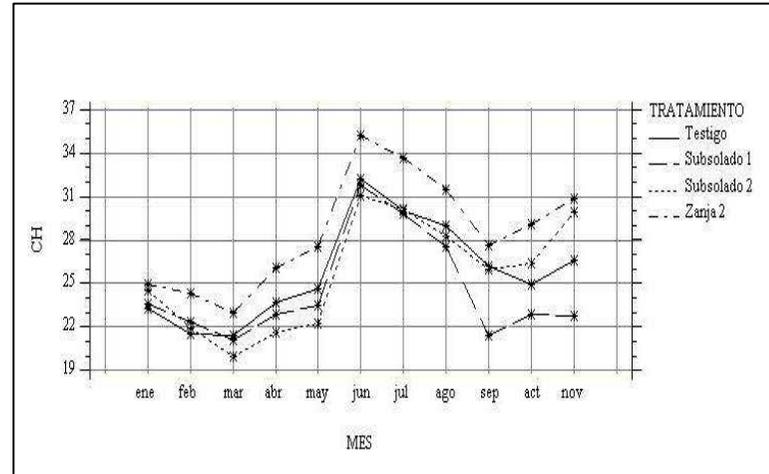


FIGURA N° 4. INTERACCIÓN BOTACURA NORESTE

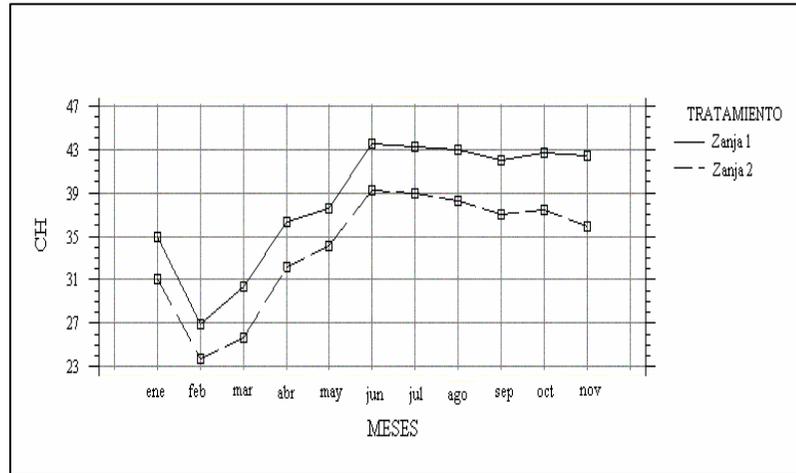


FIGURA N° 5. INTERACCIÓN PARRÓN NORTE

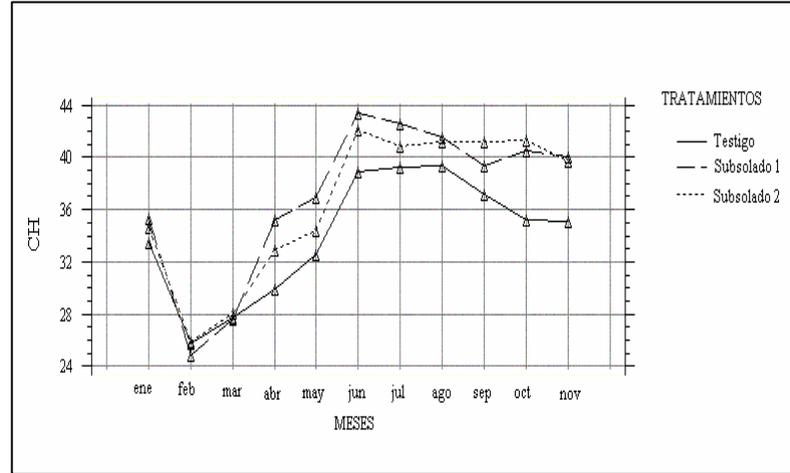


FIGURA N° 6. INTERACCIÓN PARRÓN OESTE

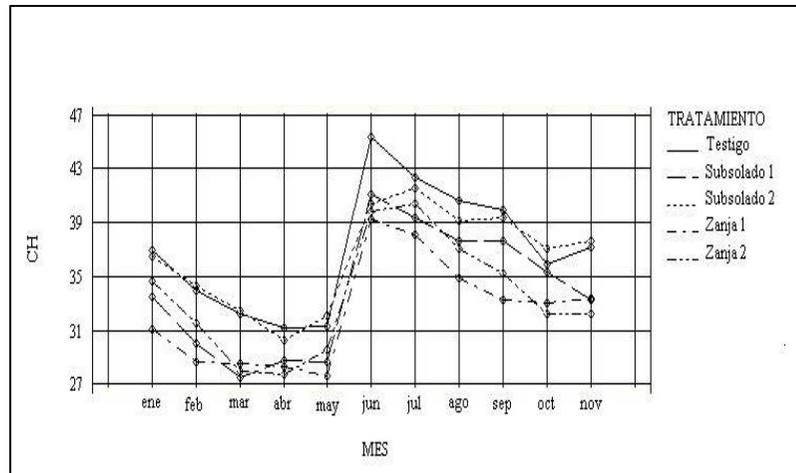


FIGURA N° 7. INTERACCIÓN HIDANGO

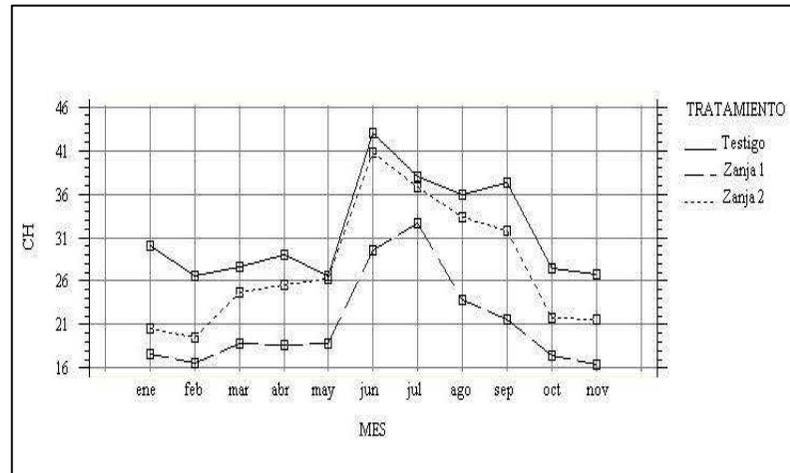


FIGURA N° 8. INTERACCIÓN NAME

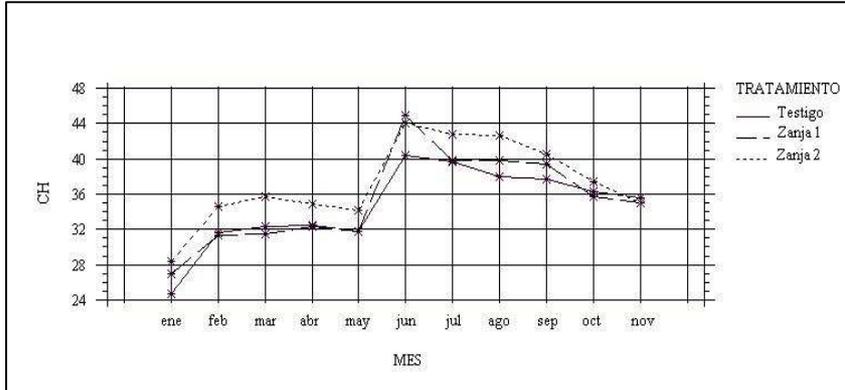


FIGURA N° 9. INTERACCIÓN LLOHUÉ

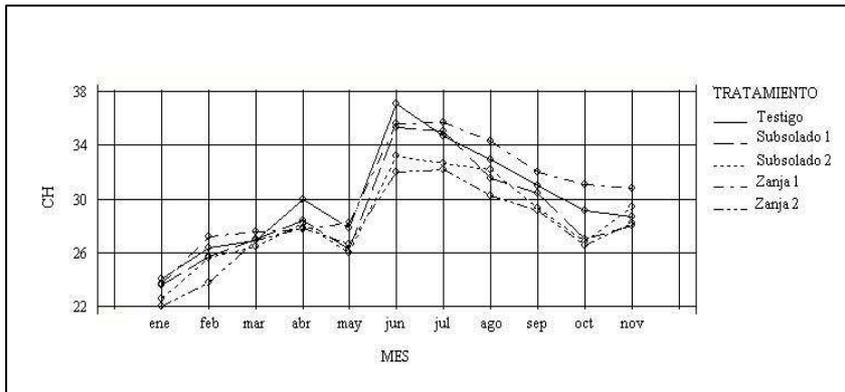


FIGURA N° 10. INTERACCIÓN MANZANARES

6.3.2. Interacción profundidad - tiempo

TABLA N° 7. VALORES P OBTENIDOS DE LA INTERACCIÓN PROFUNDIDAD TIEMPO PARA CADA ENSAYO

Nombre ensayo	Valor p	Decisión
Hidango	0,1800	No hay interacción
La Rosa	0,9454	No hay interacción
Pumanque	0,1528	No hay interacción
Name	0,1458	No hay interacción
Parrón norte	0,5786	No hay interacción
Parrón oeste	0,1320	No hay interacción
Botacura oeste	0,0886	No hay interacción
Botacura noroeste	0,1077	No hay interacción
Llohué	0,4392	No hay interacción
Manzanares	0,0055	Sí hay interacción

En función de los valores p, que se muestran en la Tabla N° 7, en general no se evidencia interacción entre la profundidad y el tiempo, lo que ocurre en todos los ensayos a excepción de Manzanares, donde se obtuvo un valor p menor a 0.05. Así, y de acuerdo con el gráfico correspondiente al ensayo Manzanares (ver Figura N° 19), la presencia de la interacción se debe principalmente a que en el mes de enero hay mayor contenido de humedad a los 60 cm, pero luego, en el siguiente mes se revierte esta situación y se presenta una mayor humedad a los 30 cm de profundidad.

No obstante, y a excepción de lo expuesto anteriormente, se visualiza claramente que en todos los ensayos, a la profundidad de 60 cm se presenta un mayor contenido de humedad a lo largo de los meses (ver Figuras N° 11 a la N° 20). Además, es importante destacar que en la mayoría de los ensayos, las curvas son bastante estrechas, y sólo en los ensayos Pumanque y La Rosa el contenido de humedad presenta curvas más diferenciadas.

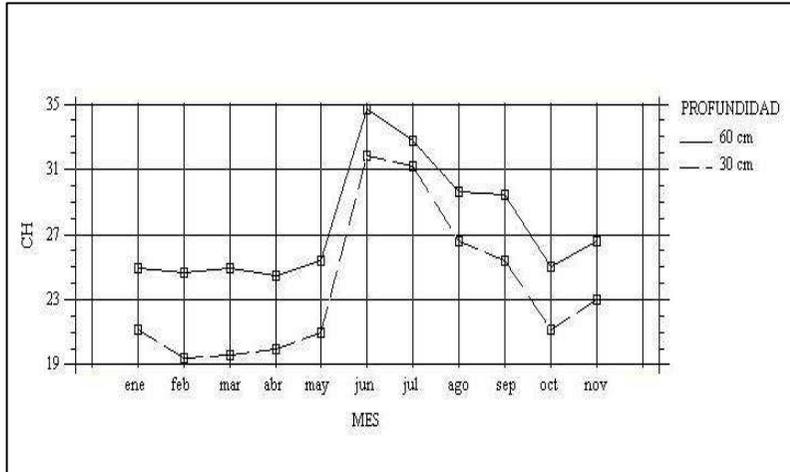


FIGURA N° 11. INTERACCIÓN PUMANQUE

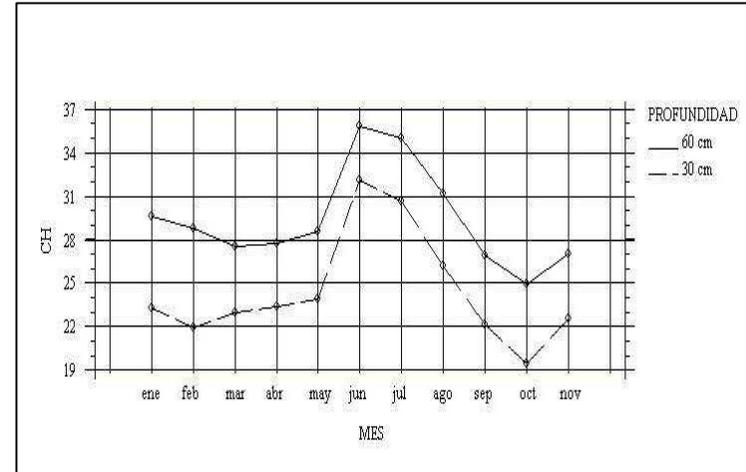


FIGURA N° 12. INTERACCIÓN LA ROSA

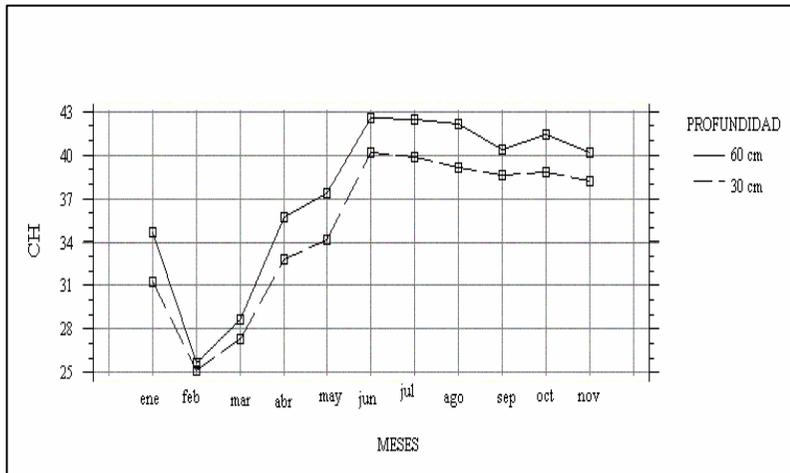


FIGURA N° 13. INTERACCIÓN PARRÓN NORTE

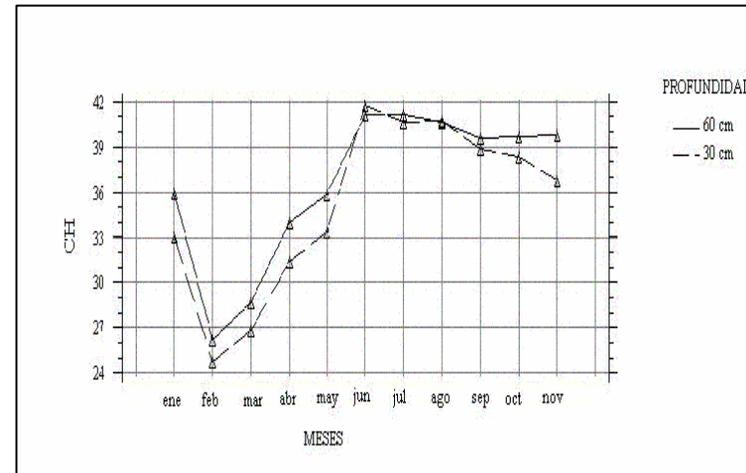


FIGURA N° 14. INTERACCIÓN PARRÓN OESTE

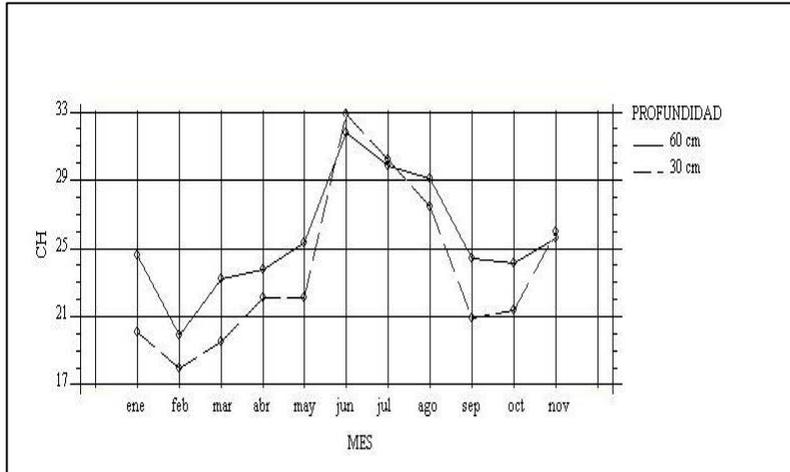


FIGURA N° 15. INTERACCIÓN BOTACURA OESTE

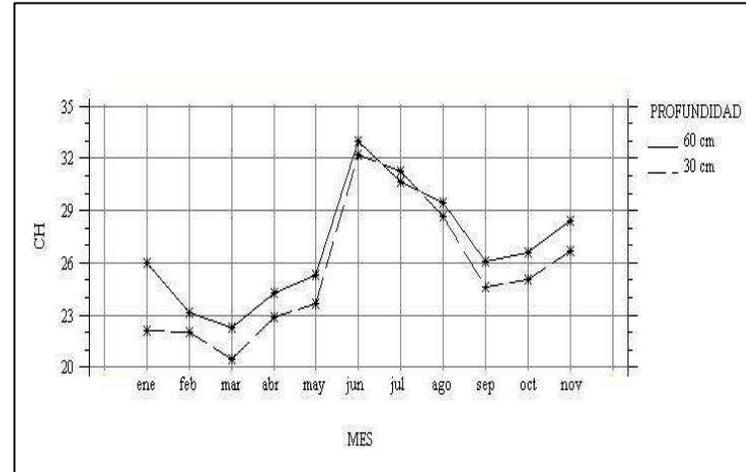


FIGURA N° 16. INTERACCIÓN BOTACURA NOESTE

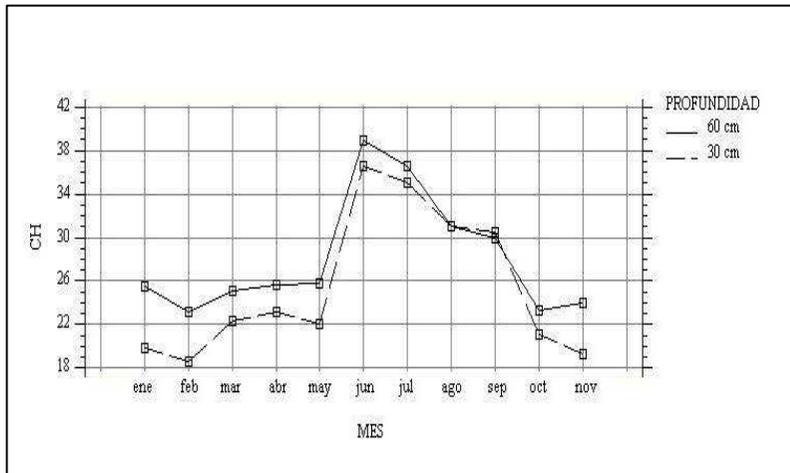


FIGURA N° 17. INTERACCIÓN NAME

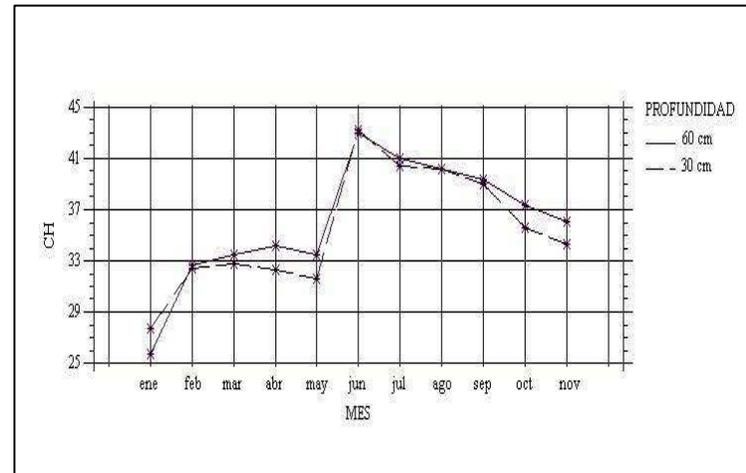


FIGURA N° 18. INTERACCIÓN LLOHUÉ

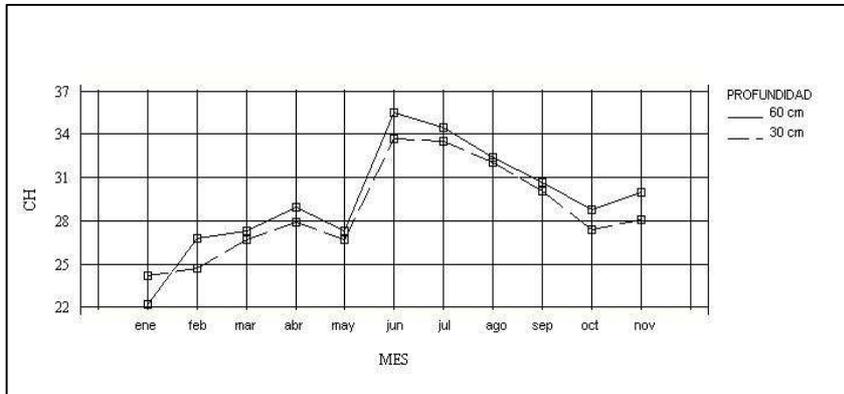


FIGURA N° 19. INTERACCIÓN MANZANARES

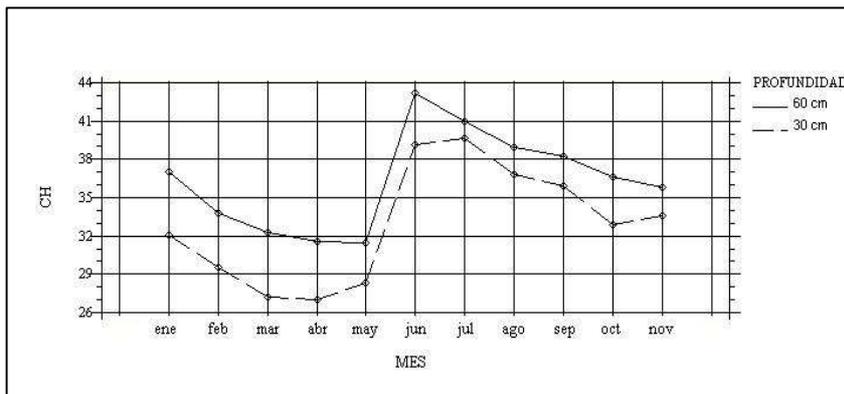


FIGURA N° 20. INTERACCIÓN HIDANGO

6.3.3. Interacción ubicación - tiempo

TABLA N° 8. VALORES P OBTENIDOS DE LA INTERACCIÓN UBICACIÓN TIEMPO PARA CADA ENSAYO

Nombre ensayo	Valor p	Decisión
Pumanque	0,0228	Sí hay interacción
Hidango	0,2427	No hay interacción
La Rosa	0,9722	No hay interacción
Parrón oeste	0,1271	No hay interacción
Parrón norte	0,6616	No hay interacción
Botacura oeste	0,9147	No hay interacción
Botacura noroeste	0,2959	No hay interacción
Name	0,0014	Sí hay interacción
Llohué	0,3003	No hay interacción
Manzanares	0,8973	No hay interacción

De acuerdo con los resultados de la Tabla N° 8, en la mayoría de los ensayos no hay interacción entre los factores de ubicación y tiempo, entendiéndose por ubicación la comparación entre la zona de arriba y zona de abajo, a excepción de los ensayos de Pumanque y Name, los cuales arrojaron valores p menores a 0.05, lo que evidencia una interacción estadísticamente significativa. Así, en la Figura N° 21, correspondiente al sector Pumanque, se puede observar que la presencia de interacción se debe a que el comportamiento de las curvas, correspondientes a la zona alta y baja del contenido de humedad, se interceptan en el mes de febrero, y además entre junio y julio hay una variación importante en el comportamiento de estas curvas. En la Figura N° 28, correspondiente al sector Name, la presencia de interacción se puede observar a lo largo de toda la trayectoria de las curvas, ya que la zona alta y baja, presentan un comportamiento muy diferente. Respecto a los ensayos restantes, que se presentan en las Figuras N° 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29 y 30, el contenido de humedad de las zonas de arriba y abajo, muestran un comportamiento similar. Por otra parte, en todos los ensayos, en la zona de alta se presenta un mayor contenido de humedad, que la zona baja.

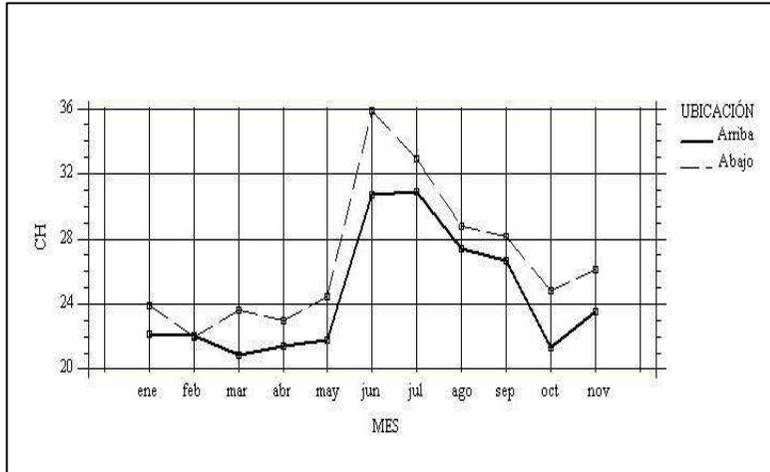


FIGURA N° 21. INTERACCIÓN PUMANQUE

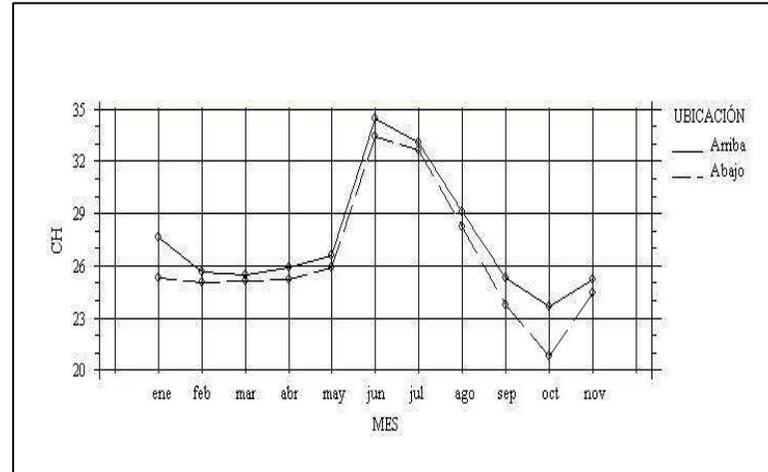


FIGURA N° 22. INTERACCIÓN LA ROSA

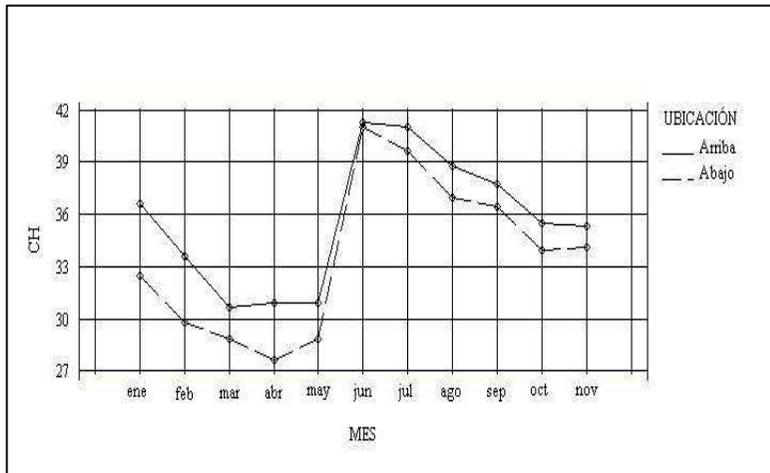


FIGURA N° 23. INTERACCIÓN HIDANGO

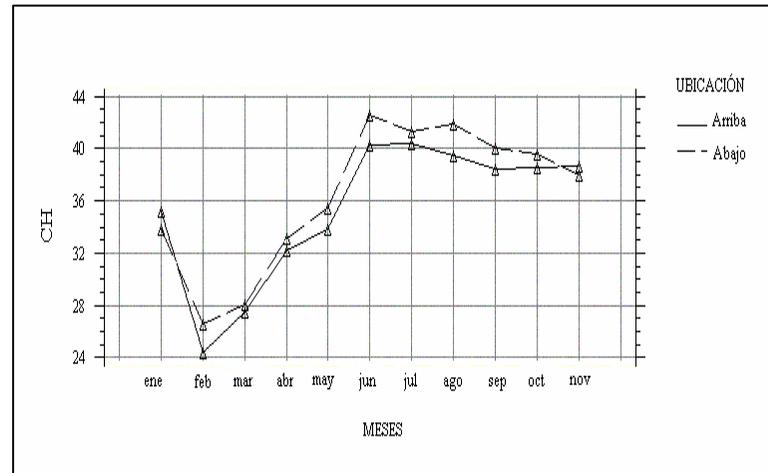


FIGURA N° 24. INTERACCIÓN PARRÓN OESTE

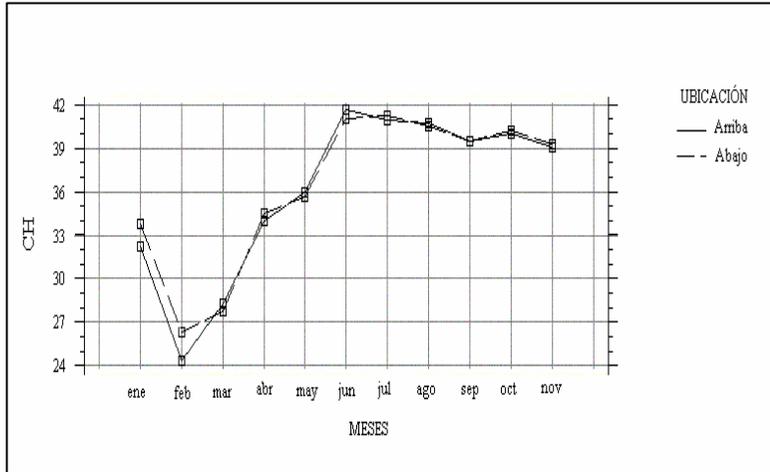


FIGURA N° 25. INTERACCIÓN PARRÓN NORTE

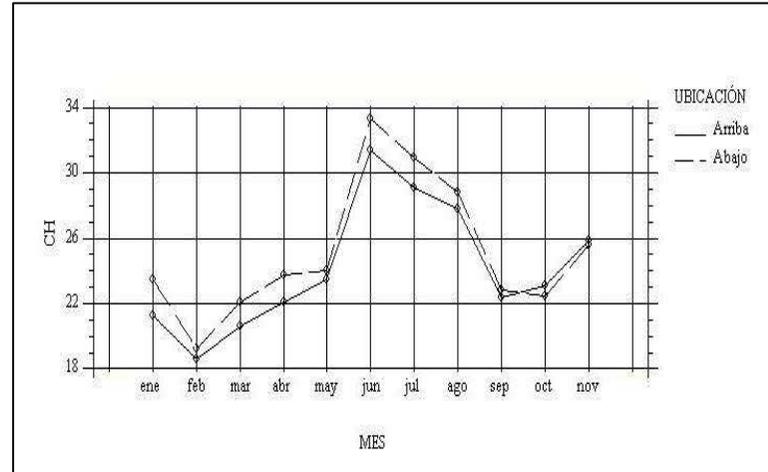


FIGURA N° 26. INTERACCIÓN BOTACURA OESTE

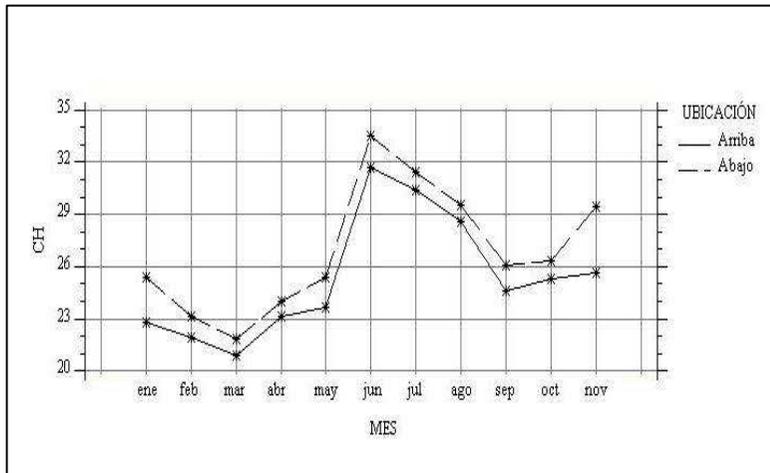


FIGURA N° 27. INTERACCIÓN BOTACURA NORESTE

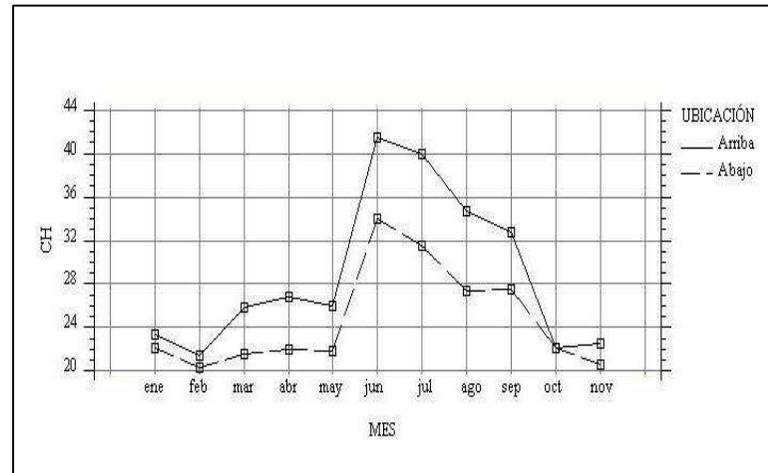


FIGURA N° 28. INTERACCIÓN NAME

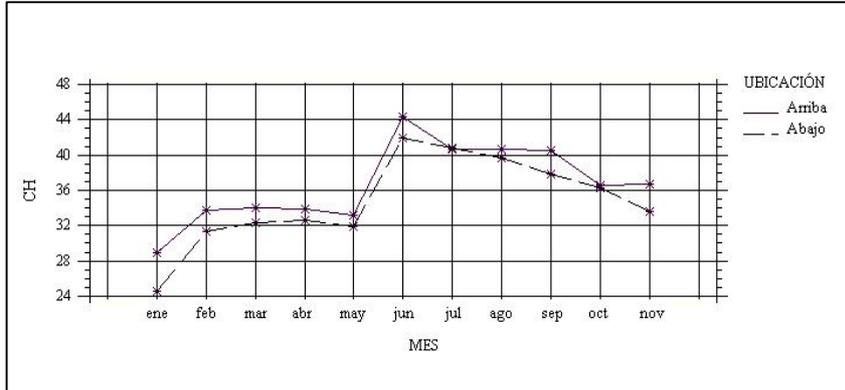


FIGURA N° 29. INTERACCIÓN LLOHUÉ

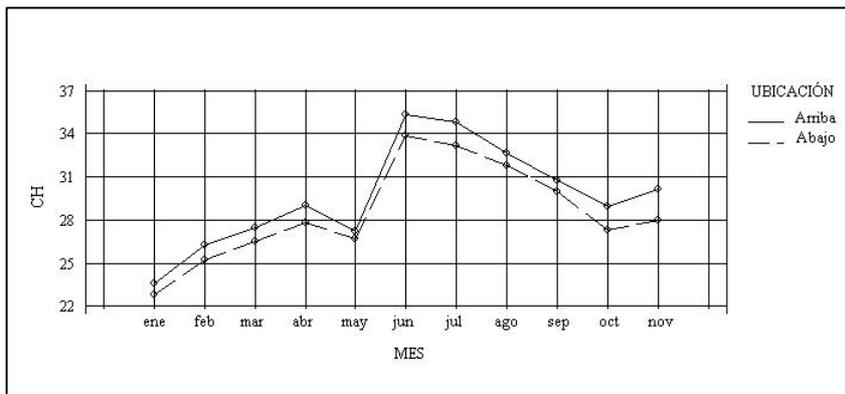


FIGURA N° 30. INTERACCIÓN MANZANARES

6.3.4. Interacción tratamiento - ubicación

TABLA N° 9. VALORES P OBTENIDOS DE LA INTERACCIÓN TRATAMIENTO UBICACIÓN PARA CADA ENSAYO

Nombre ensayo	Valor p	Decisión
Pumanque	0,0000	Sí hay interacción
Hidango	0,0000	Sí hay interacción
La Rosa	0,0000	Sí hay interacción
Parrón oeste	0,0000	Sí hay interacción
Parrón norte	0,0000	Sí hay interacción
Botacura oeste	0,2874	No hay interacción
Botacura noroeste	0,0000	Sí hay interacción
Name	0,0000	Sí hay interacción
Llohué	0,0000	Sí hay interacción
Manzanares	0,0000	Sí hay interacción

Respecto de los valores p que se muestran en la Tabla N° 9, se observa que al evaluar los factores tratamiento y ubicación, hay interacción estadísticamente significativa en todos los ensayos, a excepción de Botacura exposición Oeste, el cual se muestra en la Figura N° 35, donde se ve que el contenido de humedad de la zona de alta y baja presenta un comportamiento similar. El hecho de que exista interacción en la mayoría de los ensayos, evidencia que el contenido de humedad, a distinta profundidad, depende del tipo de tratamiento; de esta manera, en las Figuras N° 30 a la 39 se muestra el comportamiento del contenido humedad en los distintos ensayos, donde se presentan diferentes situaciones.

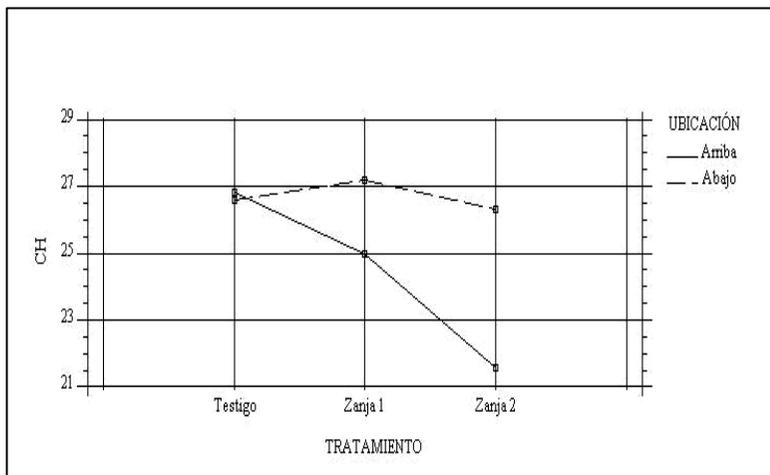


FIGURA N° 31. INTERACCIÓN PUMANQUE

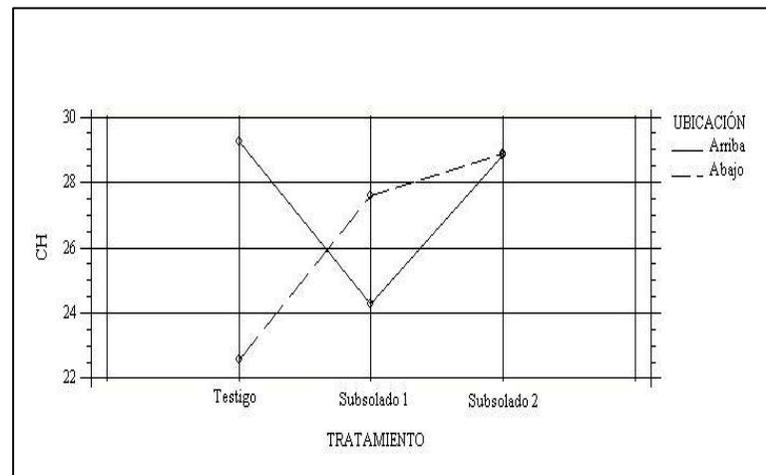


FIGURA N° 32. INTERACCIÓN LA ROSA

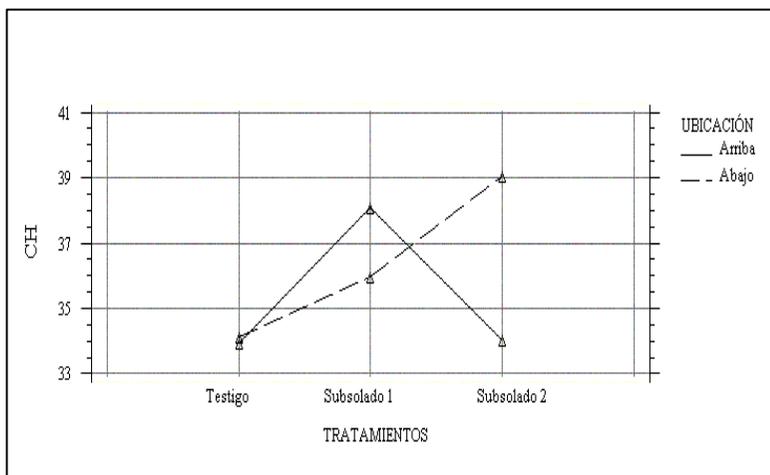


FIGURA N° 33. INTERACCIÓN PARRÓN OESTE

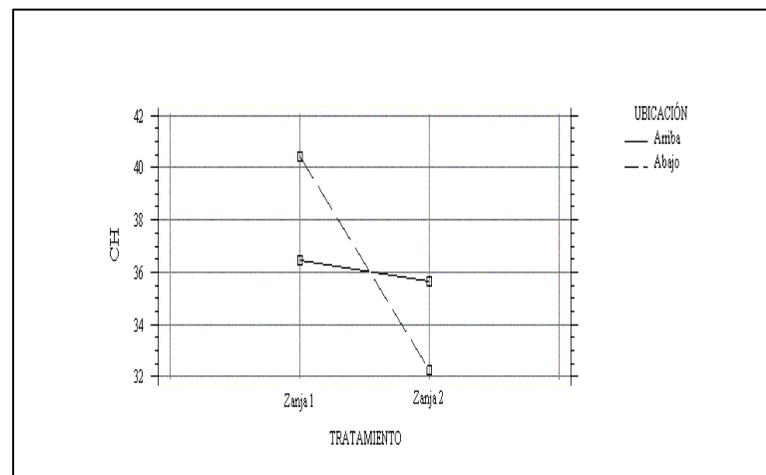


FIGURA N° 34. INTERACCIÓN PARRÓN NORTE

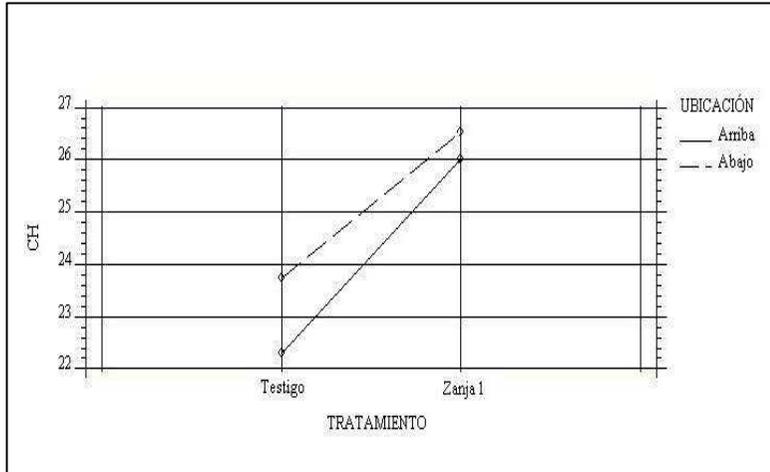


FIGURA N° 35. INTERACCIÓN BOTACURA OESTE

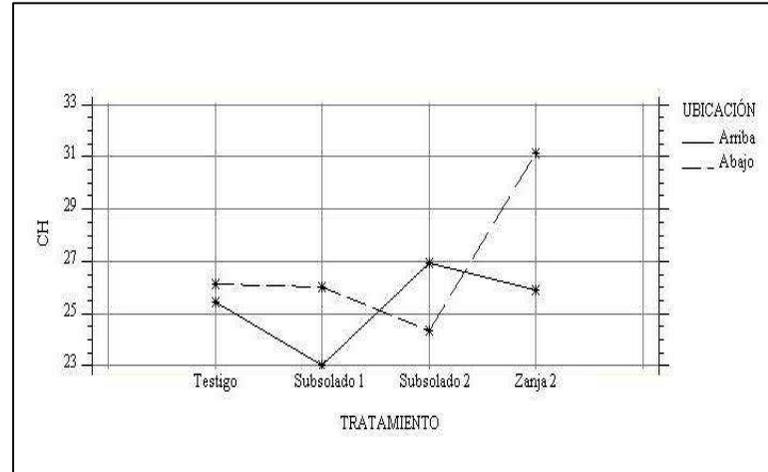


FIGURA N° 36. INTERACCIÓN BOTACURA NOESTE

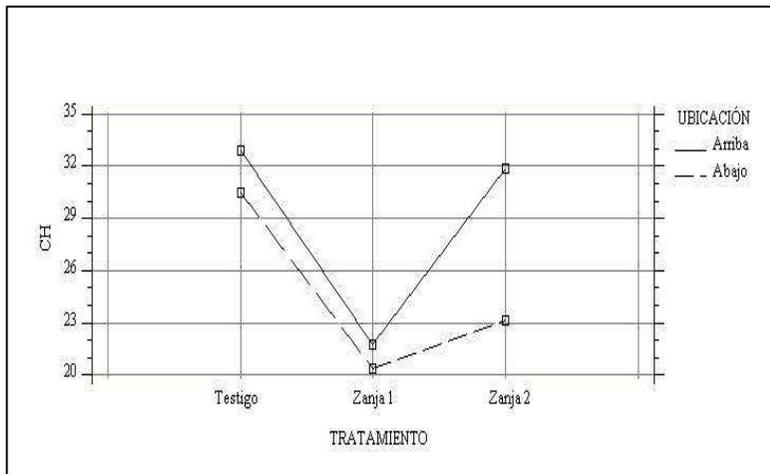


FIGURA N° 37 INTERACCIÓN NAME

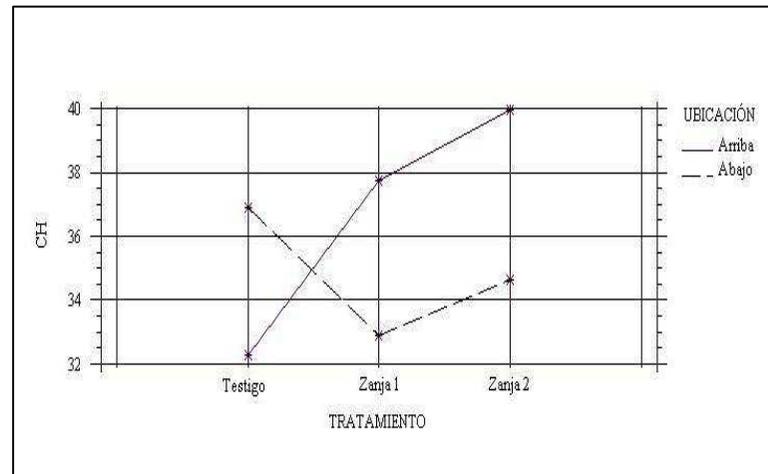


FIGURA N° 38. INTERACCIÓN LLOHUÈ

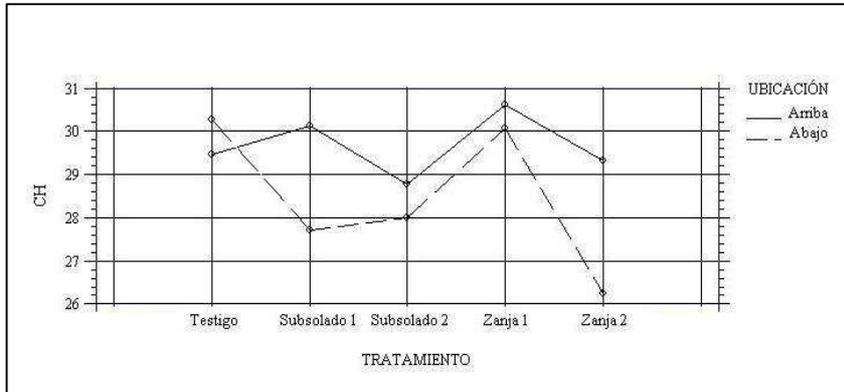


FIGURA N° 39. INTERACCIÓN MANZANARES

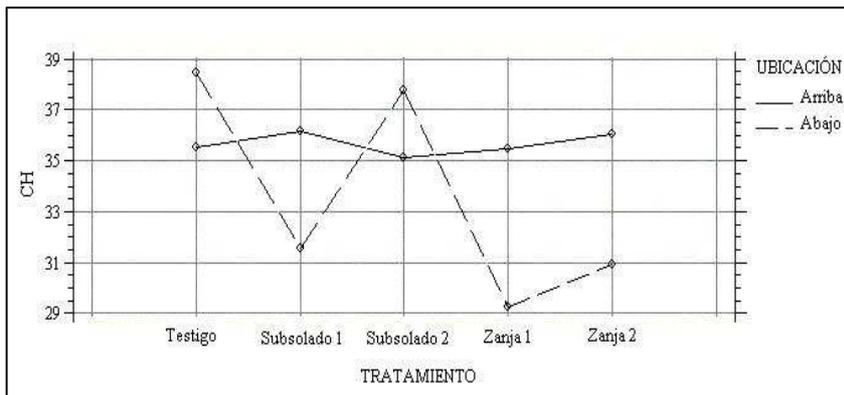


FIGURA N° 40. INTERACCIÓN HIDANGO

6.3.5. Interacción profundidad - tratamiento

Tabla N° 10. VALORES P OBTENIDOS DE LA INTERACCIÓN PROFUNDIDAD TRATAMIENTO PARA CADA ENSAYO

Nombre ensayo	Valor p	Decisión
Hidango	0,0000	Sí hay interacción
La Rosa	0,0000	Sí hay interacción
Pumanque	0,0000	Sí hay interacción
Name	0,5045	No hay interacción
Parrón oeste	0,6953	No hay interacción
Parrón norte	0,5388	No hay interacción
Botacura oeste	0,0624	No hay interacción
Botacura noroeste	0,6793	No hay interacción
Llohué	0,0090	Sí hay interacción
Manzanares	0,1354	No hay interacción

En la Tabla N° 10, se muestran los valores p para los factores de profundidad y tratamiento, donde se puede observar que los sectores de Pumanque, Hidango, La Rosa y Llohué presentan valores p menores a 0.05, lo que permite evidenciar una interacción estadísticamente significativa. De acuerdo a lo anterior, en las Figuras N° 41, 42, 48 y 50, se puede apreciar el comportamiento del contenido de humedad, encontrándose variaciones en el comportamiento de las profundidades respecto del tipo de tratamiento. Por otra parte, y como se muestra en la Tabla N° 10, los ensayos de Parrón Oeste y Norte, Botacura Oeste y Noroeste, Name y Manzanares no presentan una interacción estadísticamente significativa, lo que significa que el contenido de humedad a las dos profundidades evaluadas posee un comportamiento similar en función de los tratamientos; sin embargo y como se observa en los Gráficos N° 43, 44, 45, 46, 47 y 49, existen variaciones en el contenido de humedad respecto de los tratamientos, pero no entre las profundidades.

Por otra parte, e independiente de la interacción, en las Figuras N° 40 a la 49, se puede ver cómo se comporta la humedad a las distintas profundidades en función de los

distintos tratamiento, así por ejemplo, en el sector de Pumanque se aprecia que a 60 cm de profundidad en la unidad testigo, existe mayor contenido de humedad que en zanjas tipo 1 y tipo 2, sin embargo a 30 cm el comportamiento del contenido de humedad es distinto, donde zanjas tipo 1 y testigo presentaron resultados similares y mayores que zanjas tipo 2.

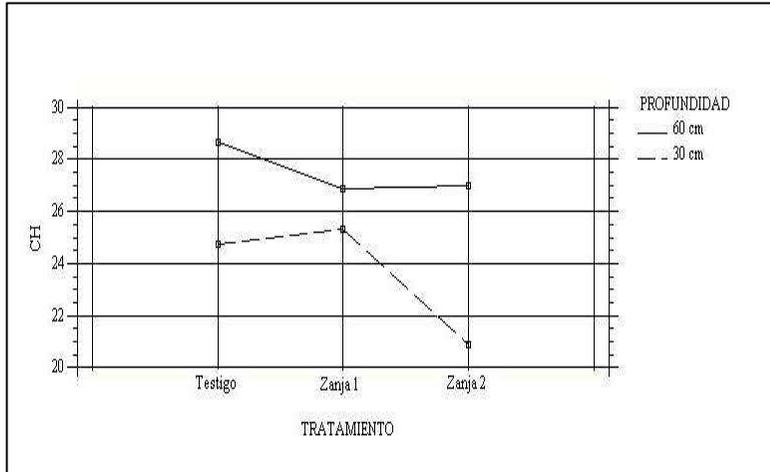


FIGURA N° 41. INTERACCIÓN PUMANQUE

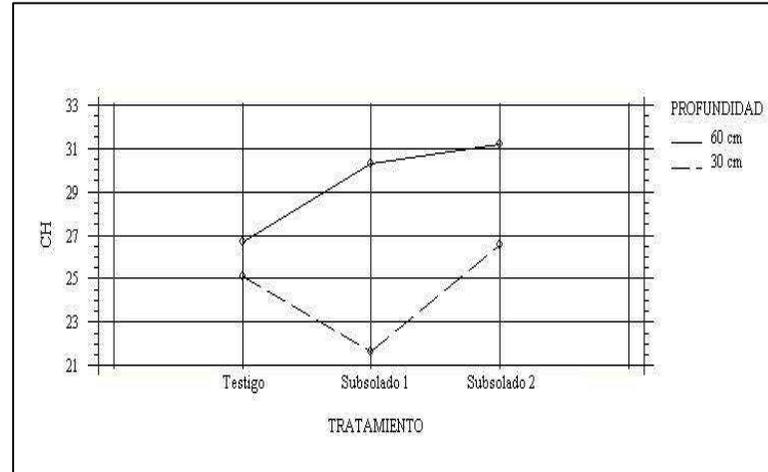


FIGURA N° 42. INTERACCIÓN LA ROSA

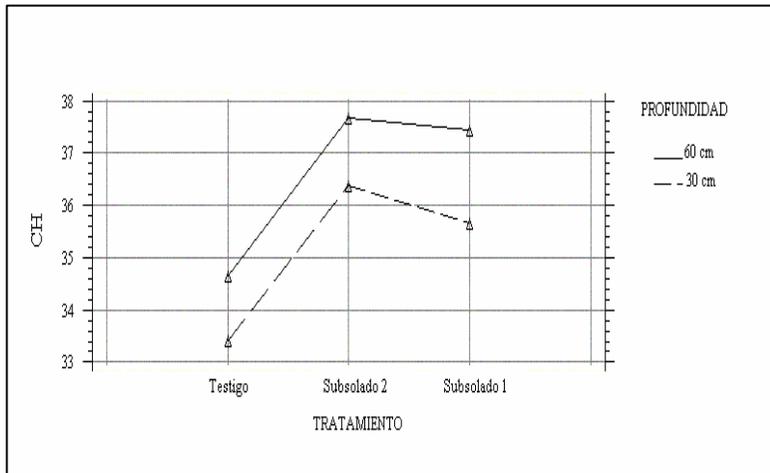


FIGURA N° 43. INTERACCIÓN PARRÓN OESTE

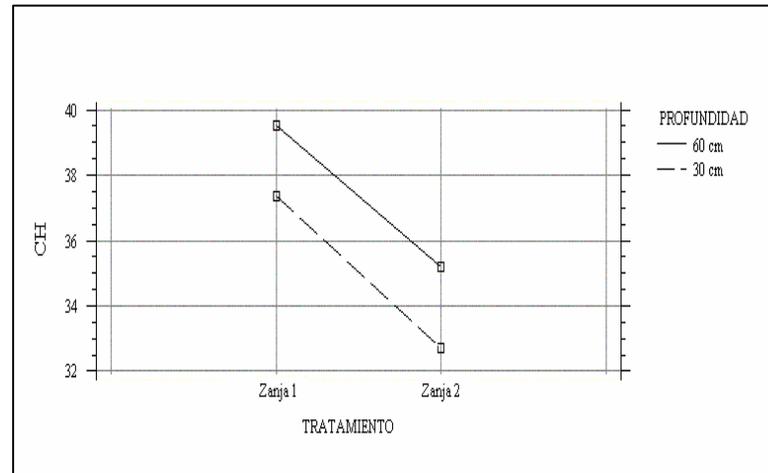


FIGURA N° 44. INTERACCIÓN PARRÓN NORTE

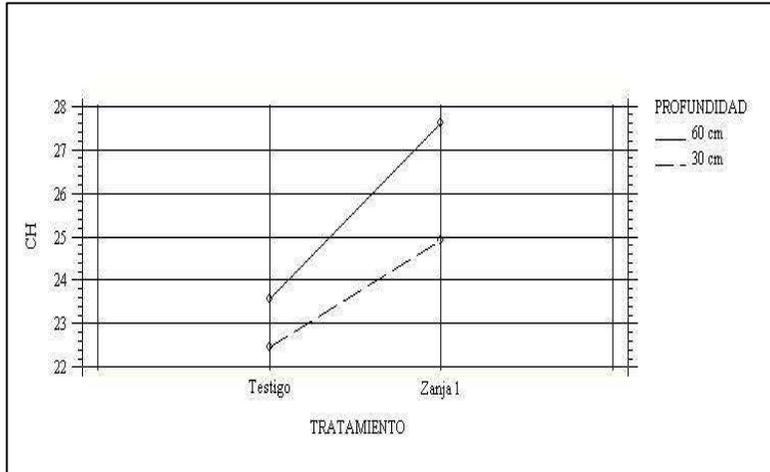


FIGURA N° 45. INTERACCIÓN BOTACURA OESTE

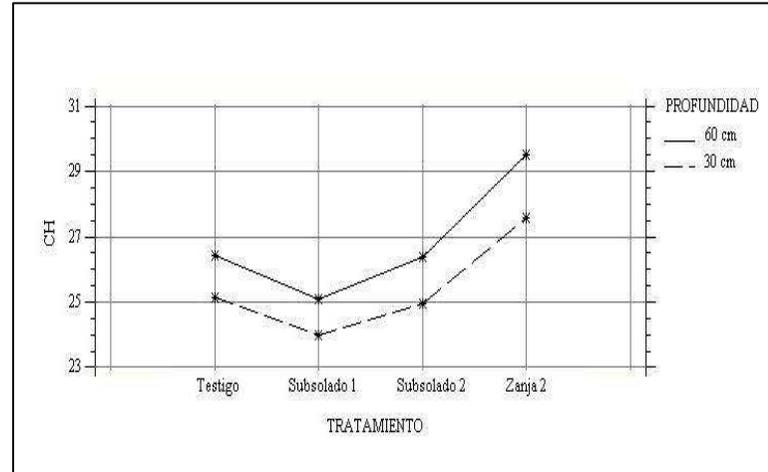


FIGURA N° 46. INTERACCIÓN BOTACURA NOESTE

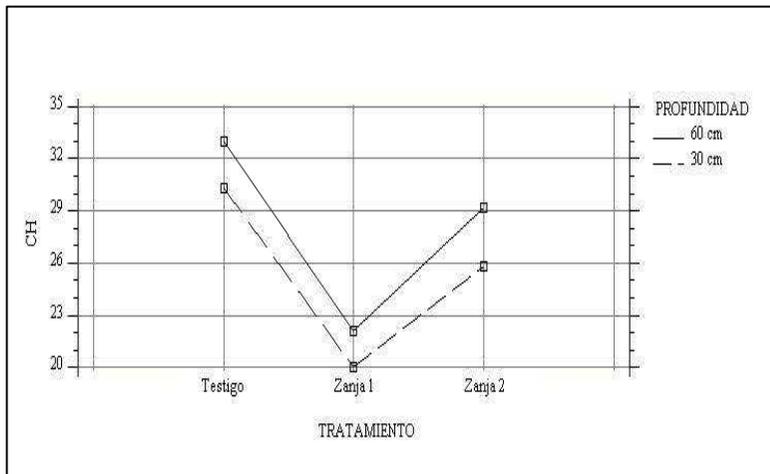


FIGURA N° 47 INTERACCIÓN NAME

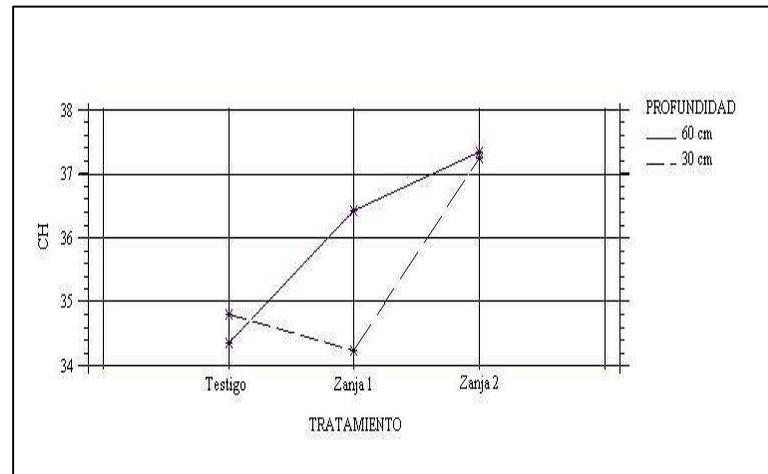


FIGURA N° 48. INTERACCIÓN LLOHUÈ

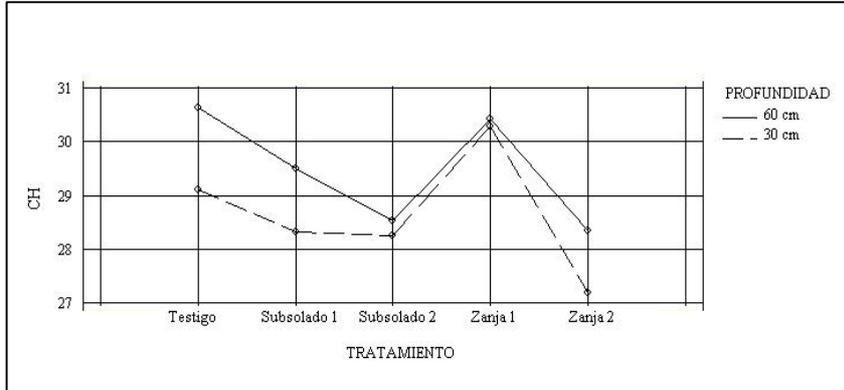


FIGURA N° 49. INTERACCIÓN MANZANARES

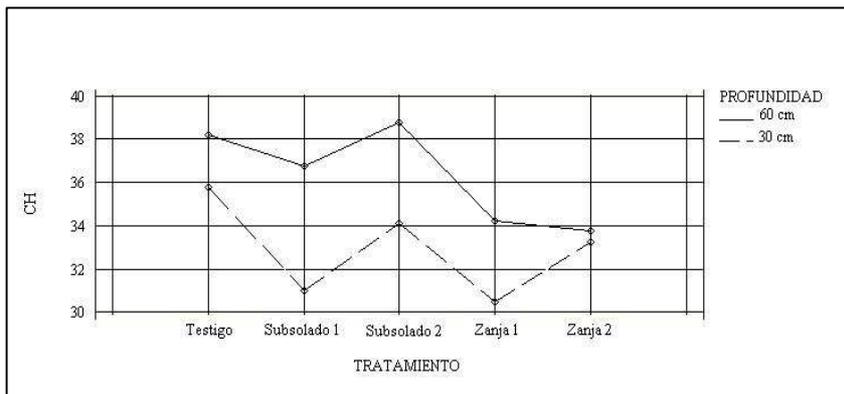


FIGURA N° 50. INTERACCIÓN HIDANGO

6.3.6. Interacción profundidad - ubicación

TABLA N° 11. VALORES P OBTENIDOS DE LA INTERACCIÓN PROFUNDIDAD UBICACIÓN

Nombre ensayo	Valor P	Decisión
Hidango	0.6788	No hay interacción
La Rosa	0.0491	No hay interacción
Pumanque	0.1667	No hay interacción
Name	0.0278	Sí hay interacción
Parrón oeste	0.3834	No hay interacción
Parrón norte	0.0031	Sí hay interacción
Botacura oeste	0.4685	No hay interacción
Botacura noroeste	0.0440	Sí hay interacción
Llohué	0.2282	No hay interacción
Manzanares	0.0000	Sí hay interacción

En la Tabla N° 11, se observa que el análisis estadístico determinó que los ensayos de Parrón exposición Norte, Botacura exposición Noroeste, Name y Manzanares, presentan interacción estadísticamente significativa. Las gráficas de estos lugares, ilustrados en las Figuras N° 54, 56, 57 y 59, muestran que el contenido de humedad presenta variaciones para las profundidades evaluadas y en función de las ubicaciones en que fueron tomadas las muestras. Por otra parte, los ensayos de Pumanque, Hidango, La Rosa, Parrón oeste, Botacura oeste y Llohué no mostraron interacción estadísticamente significativa (Tabla N° 11); por esto y como se aprecia en las Figuras N° 51, 52, 53, 55, 58 Y 60, las rectas correspondientes a las profundidades, son paralelas entre sí en función de la ubicación en la cual fue tomada la humedad.

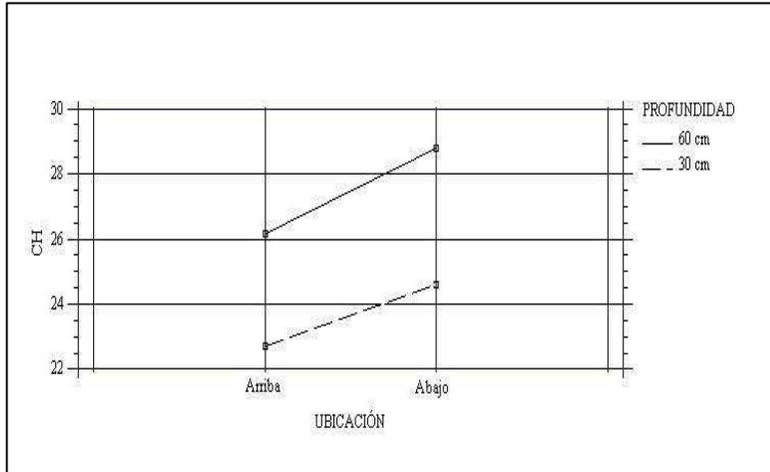


FIGURA N° 51. INTERACCIÓN PUMANQUE

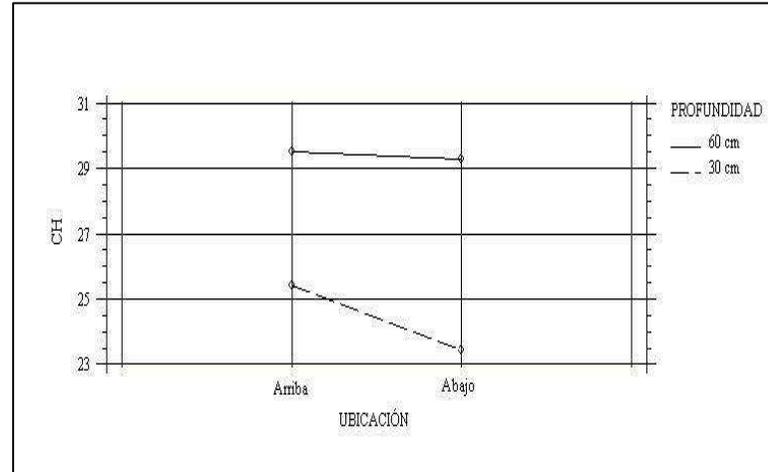


FIGURA N° 52. INTERACCIÓN LA ROSA

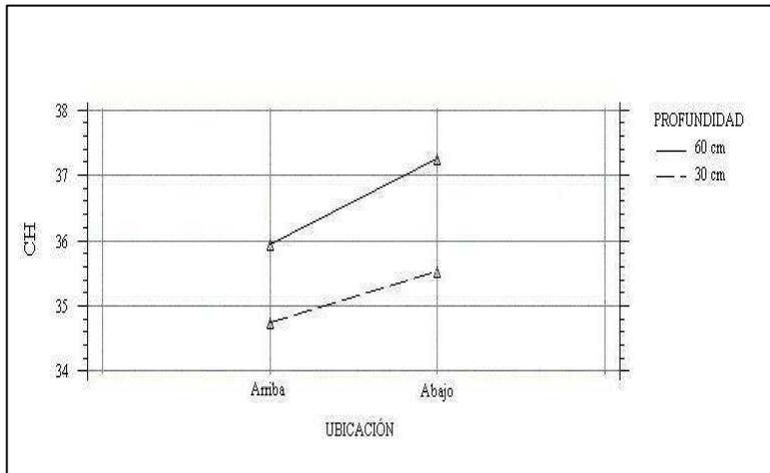


FIGURA N° 53. INTERACCIÓN PARRÓN OESTE

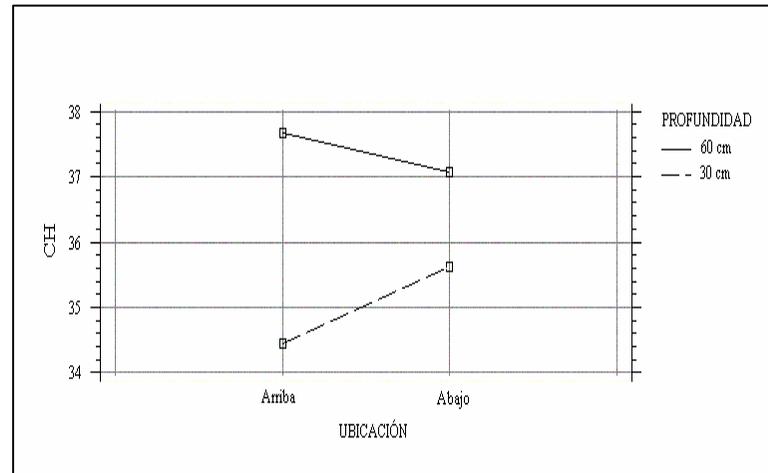


FIGURA N° 54. INTERACCIÓN PARRÓN NORTE

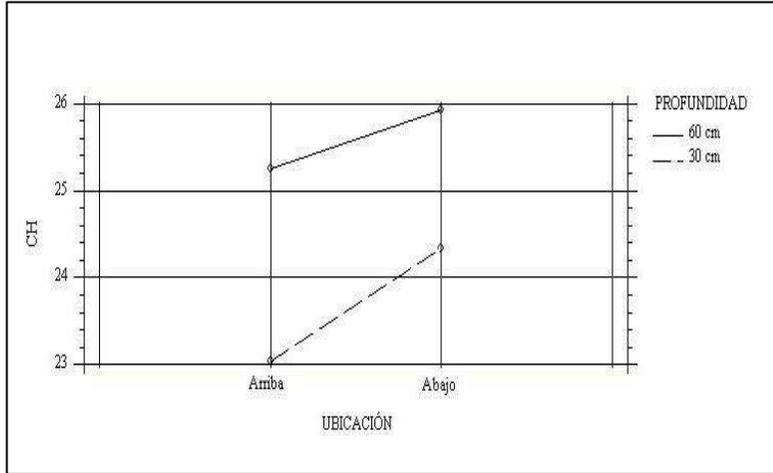


FIGURA N° 55. INTERACCIÓN BOTACURA OESTE

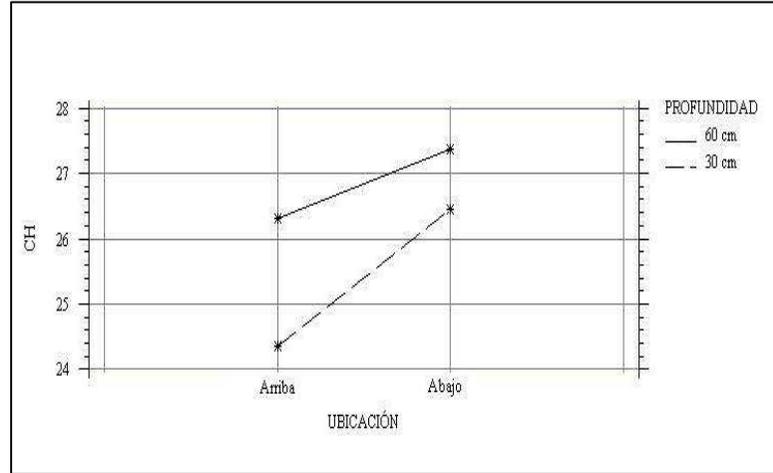


FIGURA N° 56. INTERACCIÓN BOTACURA NOESTE

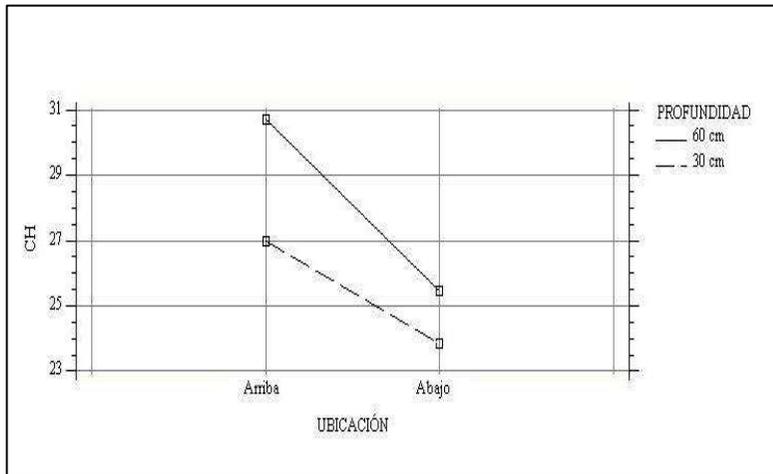


FIGURA N° 57 INTERACCIÓN NAME

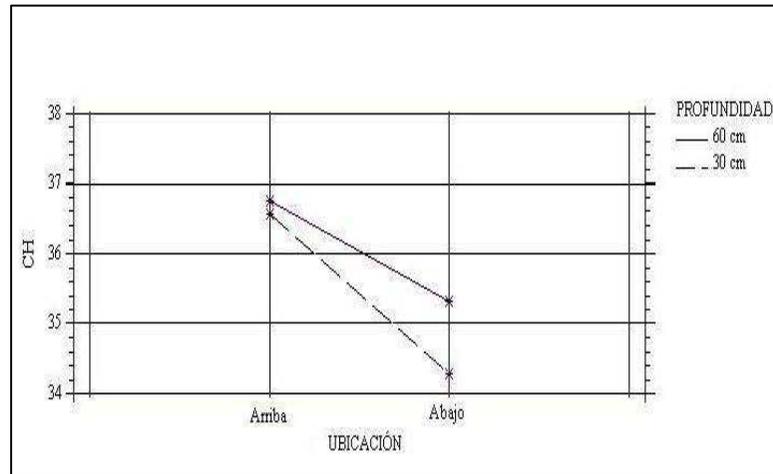


FIGURA N° 58. INTERACCIÓN LLOHUÈ

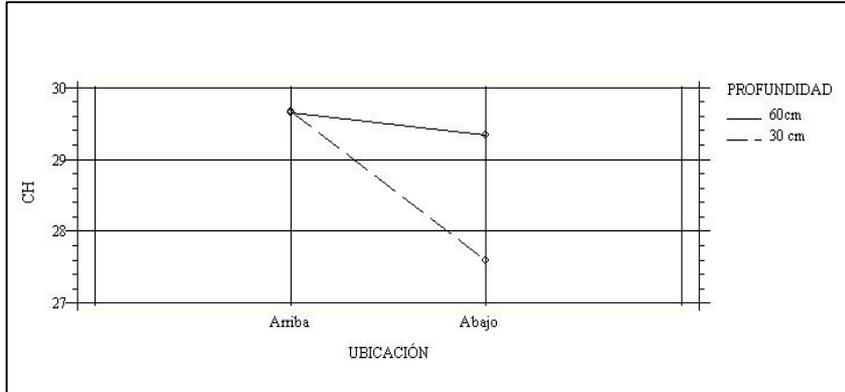


FIGURA N° 59. INTERACCIÓN MANZANARES

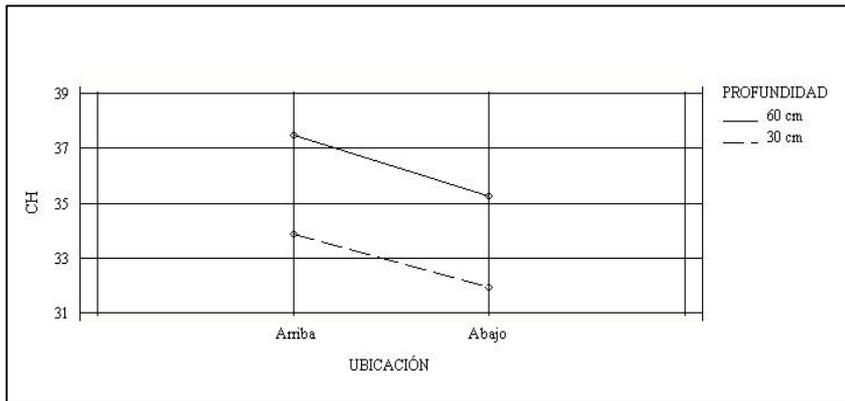


FIGURA N° 60. INTERACCIÓN HIDANGO

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Análisis de los cálculos de densidad aparente

Respecto de los cálculos de densidad aparente mostrados en la primera parte del capítulo Presentación de Resultados, se puede observar claramente que existen diferencias importantes dentro de cada ensayo. En función de lo anterior, en la Figura N° 1 se muestra el comportamiento de la densidad aparente, respecto de la media. Así, se puede observar que la densidad aparente presentó grandes diferencias dentro de cada uno de los ensayos, lo que pone en evidencia la gran dinámica de los suelos evaluados; esto según Valdés (1969), citado por Donoso (1994), ratifica el que las propiedades físicas de los suelos presentan grandes variaciones.

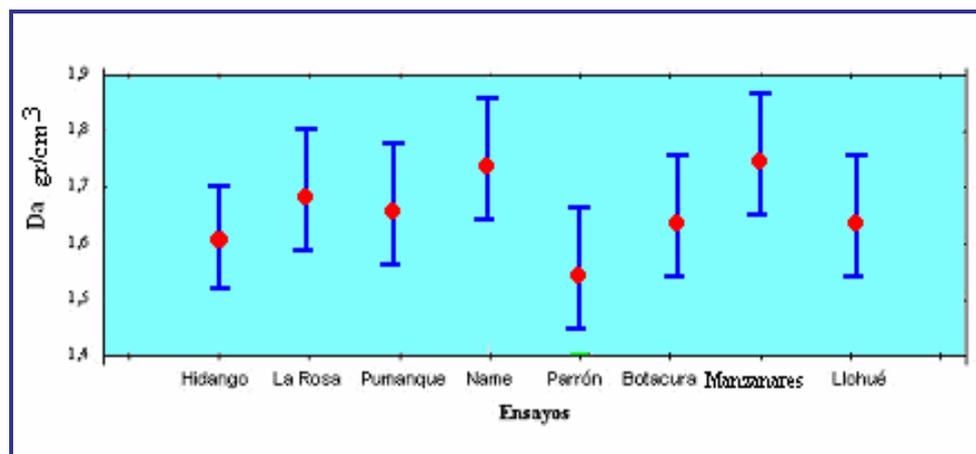


FIGURA N° 1. VARIABILIDAD DE LA DENSIDAD APARENTE CON RESPECTO A LA MEDIA.

En el mismo contexto, en la Tabla N° 12 se presentan los valores promedio, máximo y mínimo de la densidad aparente, donde se puede decir que los ensayos de Name y Manzanares presentaron los valores promedio más altos, de 1.75 gr/cm³ y 1.78 gr/cm³ respectivamente, lo que haría suponer que se está en presencia de suelos más compactados y por lo tanto, con peores condiciones de drenaje; por otra parte, los valores más bajos corresponderían al ensayo de Parrón, con 1.5 gr/cm³ promedio. Sin embargo, el valor promedio es sólo referencial y lo importante es tomar en consideración el conjunto de los datos. En efecto, el valor más bajo de densidad aparente, obtenido de todos los ensayos es de 1.16 gr/cm³, lo que es característico de suelos franco arcillosos, con buen drenaje; no obstante, el mayor valor es de 2.08 gr/cm³, lo cual es un valor muy alto y según Donoso (1994), este valor es característico de suelos muy compactados, con alto grado de erosión.

TABLA N° 12. PROMEDIO, VALOR MÁX Y VALOR MÍN DE DENSIDAD APARENTE EN gr/cm³

Ensayos	Valor Mín.	Valor Máx.	Promedio
Hidango	1.39	1.89	1.60
La Rosa	1.45	1.87	1.69
Pumanque	1.40	1.91	1.66
Name	1.39	2.00	1.75
Parrón	1.16	1.91	1.50
Botacura	1.32	2.01	1.66
Manzanares	1.63	2.08	1.78
Llohué	1.27	2.03	1.65

7.2. Análisis del contenido de humedad respecto de los tratamientos

Respecto de la primera interacción, mostrada en el capítulo anterior, en donde se presenta una gama de gráficos que muestran el comportamiento del contenido de humedad evaluada en los distintos tratamientos en función de los meses, a modo de complementar el análisis se aplicó el test de Tukey, el cual determinó las diferencias entre los tratamientos

en función de las medias, lo que se realizó para cada ensayo. De este modo, en las siguientes Tablas se muestran los resultados de la aplicación de la prueba.

Además, y a modo de realizar un análisis más acabado de los resultados del contenido de humedad, estos datos serán comparados con la altura promedio de las plantulas, que se obtuvieron del estudio que realizó Faúndez (2004), para los mismos ensayos; ello porque esta autora desarrolló un estudio comparativo del desarrollo de plántulas de *Pino insigne*, cuyos resultados son altamente valiosos para esta investigación (efectuándose las mediciones en agosto del 2003).

Hidango

TABLA N° 13. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Zanjas 1	32.36	X
Zanjas 2	33.48	XX
Subsolado 1	33.87	X
Subsolado 2	36.43	X
Testigo	36.99	X

En función de los resultados arrojados por el test de Tukey, que se muestra en la Tabla N° 13, se observa que el tratamiento testigo presentó mayor contenido de humedad, con un promedio de 36.99; no obstante, subsolado 2 posee un promedio similar de 36.43, sin presentar diferencias significativas entre éstos. Además, subsolado 1 y zanjas tipo 2 arrojan valores similares, de 33.87 y 33.48 respectivamente, no existiendo diferencias significativas entre estos valores, aunque sí presentan diferencias respecto de los tratamientos subsolado tipo 2 y testigo. Finalmente zanjas tipo 1 presenta el menor valor promedio.

Por otra parte, según Faúndez (2004), la altura promedio de las plantas, para el sector de Hidango fueron los siguientes: 53.88 cm para zanjas tipo 1; 65.73 cm para zanjas

tipo 2; 66.31 cm para subsolado tipo 1; 85.33 cm para subsolado tipo 2 y 49.25 para testigo. Si se comparan estos resultados con el contenido de humedad promedio, obtenidos de cada tratamiento (ver Tabla 13), se observa que la unidad testigo presentó el mayor valor en contenido de humedad del suelo y el menor valor en altura promedio de las plantas; esto se explicaría porque, aunque hay presencia de mayor cantidad de agua en la zona testigo, ésta no está siendo útil para las plantas, ya que no se encontraría disponible. Sin embargo, para subsolado tipo 1 y 2 y zanjas tipo 1 y 2, no se produce la misma relación entre altura de las plantas y contenido de humedad del suelo, lo que podría deberse a la variabilidad del comportamiento del contenido de humedad en los suelos sometidos a obras de conservación. Esto se confirma al revisar la Figura 10 del capítulo 6, donde se muestra la interacción entre los distintos tratamientos y el tiempo, en donde se aprecia que los tratamientos zanjas y subsolados no presentan curvas temporales definidas.

La Rosa

TABLA N° 14. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Testigo	25.90	X
Subsolado 1	25.95	X
Subsolado 2	28.85	X

De acuerdo con los resultados que muestra la Tabla N° 14, subsolado tipo 2 presenta el valor promedio más alto de humedad, y una diferencia significativa respecto de los demás tratamientos; en efecto, subsolado tipo 1 y la unidad testigo, poseen contenidos de humedad similares, sin diferencias significativas entre éstos.

Si estos valores se comparan con la altura promedio de las plantas, obtenidos por el estudio realizado por Faúndez (2004), se tiene que subsolado tipo 2 presentó el mayor valor

para el contenido de humedad de 28.85 y para la altura de las plantas de 75.25 cm; le sigue subsolado tipo 1 con un contenido de humedad promedio de 25.95 y una altura de 65.81 cm. Finalmente, el valor más bajo, en comparación de los demás tratamientos es testigo con 25.90 de contenido de humedad y 58.84 cm de altura promedio de las plantas. En función de estos resultados, la lógica parece invertirse, ya que los tratamientos con obras de conservación son los que mostraron tener mayor contenido de humedad y mayor crecimiento de las plantas. Lo que coincide con los resultados alcanzados por Saavedra (1999), donde se compararon los contenidos de humedad, en plantaciones de 7 años de pino insigne, sometidos a zanjas de infiltración.

Pumanque

TABLA N° 15. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Zanjas 2	23.94	X
Zanjas 1	26.07	X
Testigo	26.71	X

La Tabla N° 15 muestra que en el ensayo de Pumanque, el tratamiento testigo presentó mayor contenido de humedad que los dos tipos de zanjas; sin embargo, también se observa que zanjas tipo 1 y testigo no presentan diferencias estadísticamente significativas, y además que zanjas tipo 2, posee menor contenido de humedad promedio, presentando una diferencia estadísticamente significativa respecto de los otros dos tratamientos.

Por otra parte, Faúndez (2004) determinó que para el sector de Pumanque los valores promedio de la altura de las plantas fueron de 22.22 cm para zanjas tipo 2; 22.00 cm para zanjas tipo 1 y 21.66 cm para la unidad testigo. Por consiguiente, si estos datos se relacionan con los resultados del contenido de humedad promedio (ver Tabla N° 15), se puede observar que la obra que arrojó menor contenido de humedad fue zanjas tipo 2, lo

que se contrasta con la altura de las plantas, ya que este tratamiento presentó el valor más alto en comparación con los demás tratamientos. En el mismo contexto, la unidad testigo presentó el mayor contenido de humedad, respecto de los otros tratamientos, lo que también se contrasta con la altura promedio de las plantas, porque la unidad testigo presentó la altura promedio más baja. Lo anterior, podría ser explicado por la influencia de las obras en el proceso de infiltración; de esta manera las zanjas están favoreciendo la infiltración y por ende retienen mayor cantidad de agua. Sin embargo al cuantificar la cantidad de agua existente en los suelos donde se construyeron estas obras, se presentaron menores contenidos de humedad, debido a que las plantas están absorbiendo el agua disponible y la están utilizando para su desarrollo. Es por esto que al haber menos cantidad de agua en el suelo, mayor es la altura de las plantas, aunque las diferencias no sean tan notorias.

Name

TABLA N° 16. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Zanjas 2	21.07	X
Zanjas 1	27.50	X
Testigo	31.65	X

Según la Tabla N° 16, se puede ver que entre los tres tratamientos evaluados, hay diferencias estadísticamente significativas; además, el tratamiento que posee el valor promedio mayor es testigo, luego zanjas tipo 1 y finalmente zanjas tipo 2.

Tomando en cuenta los datos de altura promedio de las plantas, obtenidos por el estudio realizado por Faúndez (2004), se determinó que zanjas tipo 2 presentó el menor contenido de humedad y la mayor altura promedio (81.09 cm). Además, testigo arrojó el valor más alto en cuanto al contenido de humedad y la menor altura promedio de plantas

(61.55 cm). En efecto, zanjas tipo 1 arrojó una altura promedio de las plantas de 61.55 cm. Respecto de lo anterior, en general se observa que en los tratamientos que se presentaron los valores mayores de contenido de humedad, las plantas mostraron menor altura, lo que se explicaría principalmente porque al existir mayor agua disponible en el suelo, las plantas la utilizan para su desarrollo, lo que se reflejaría en un mayor crecimiento en altura, y una menor cantidad de agua cuantificable en el suelo.

Parrón exposición oeste

TABLA N° 17. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Testigo	34.03	X
Subsolado 1	36.54	X
Subsolado 2	37.02	X

En la Tabla N° 17, se observa que subsolado tipo 1 y subsolado tipo 2, muestran los mayores valores de contenidos de humedad, no presentando diferencias estadísticas entre ellos. Por otra parte, el tratamiento testigo arrojó el menor valor promedio, el cual presenta diferencias estadísticamente significativas respecto de los otros tratamientos. Esto permite inferir que el comportamiento entre subsolado tipo 1 y tipo 2 es similar.

Parrón exposición norte

TABLA N° 18. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Zanjas 1	33.96	X
Zanjas 2	38.47	X

Al no existir una unidad testigo o de control en este ensayo, no es posible cuantificar el comportamiento de las zanjas. Sin embargo, se puede ver que zanjas tipo 1 presentó un mayor contenido de humedad que zanjas tipo 2, y además, se observa que hay diferencias estadísticamente significativas entre estos tratamientos (ver Tabla N° 18). Así, el hecho de que zanjas tipo 2 presente mayor humedad que zanjas tipo 1, puede deberse a que las dimensiones de zanjas tipo 2 son mayores, y por lo tanto es mayor la cantidad de agua que puede infiltrar y ser retenida por el área de impluvio.

Botacura exposición oeste

TABLA N° 19. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Testigo	23.01	X
Zanjas 1	26.26	X

En la Tabla N° 19, se muestra que zanjas tipo 1, presenta un valor promedio mayor que testigo, con una diferencia estadísticamente significativa.

Botacura exposición noroeste

TABLA N° 20. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Subsolado 1	24.53	X
Subsolado 2	25.65	X
Testigo	25.77	X
Zanjas 2	28.52	X

De acuerdo con el test de Tukey, aplicado para los datos de contenido de humedad pertenecientes al ensayo Botacura exposición noroeste, el tratamiento zanjas tipo 2, es el que presenta mayor contenido de humedad, con un valor promedio de 28.52; luego le siguen la unidad testigo y subsolado tipo 2, con valores de 25.77 y 25.65 respectivamente, los cuales no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Finalmente, el promedio más bajo fue obtenido de subsolado 1, con diferencias significativas respecto de los demás tratamientos (ver Tabla N° 20).

Llohué

TABLA N° 21. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Zanjas 2	34.58	X
Zanjas 1	35.32	X
Testigo	37.28	X

La Tabla N° 21, muestra que entre zanjas tipo 1 y tipo 2 no hay diferencias significativas, y que testigo presenta el mayor contenido de humedad promedio.

Al comparar estos datos de contenido de humedad con los datos de altura promedio de las plantas, obtenidos por el estudio realizado por Faúndez (2004), se determinó que zanjas tipo 2 presentó el menor contenido de humedad y la mayor altura promedio (75.25 cm). Además, testigo presentó el valor más alto en cuanto al contenido de humedad y la menor altura promedio de plantas (58.84 cm). Además, zanjas tipo 1 arrojó una altura promedio de las plantas de 61.55 cm. Los valores antes descritos, muestran que al haber menor humedad, mayor es la altura promedio de las plantas, lo que nuevamente se explicaría principalmente porque al existir mayor agua disponible en el suelo, las plantas la utilizan para su desarrollo, lo cual se ve reflejado en un mayor crecimiento en altura, y una menor cantidad de agua cuantificable en el suelo.

Manzanares

TABLA N° 22. RESULTADOS TEST DE TUKEY

Contenido de humedad en %		
Tratamiento	Promedio	Grupos Homogéneos
Zanjas 2	27.77	X
Subsolado 2	28.39	XX
Subsolado 1	28.91	X
Testigo	29.86	X
Zanjas 1	30.35	X

En el ensayo Manzanares se observa que zanjas tipo 1 y testigo, presentan el mayor contenido de humedad promedio, los cuales son de 30.35 y 29.86 respectivamente, los que no tienen diferencias significativas entre ellos. Estos valores se pueden ver en la Tabla N° 22, donde además se muestran los promedios de todos los tratamientos, y si estos poseen diferencias significativas.

Según Faúndez (2004), los valores de la altura promedio de las plantas, obtenidos para cada tratamiento, en orden de menor a mayor, fueron: zanjas tipo 1 de 52.44 cm, testigo de 55.91 cm, zanjas tipo 2 de 62.78 cm, subsolado tipo 1 de 76.52 cm y subsolado tipo 2 de 81.42 cm. Al comparar estos resultados con los del contenido de humedad (ver Tabla N° 22), se puede apreciar que los mayores valores de contenido de humedad son para testigo y zanjas tipo 1, mientras que las menores alturas promedio son coincidentemente para los mismos tratamientos; no obstante, esto no se da en el mismo orden, pero hay que tomar en cuenta que estos tratamientos no presentan diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte y antes de presentar los ensayos de Parrón y Botacura, es importante tomar en cuenta que estos sectores debieron ser seccionados en dos ensayos, ya que presentaban diferente exposición, lo cual no se realizó en el estudio de Faúndez. Así, para el ensayo Botacura, habiendo en el sector dos zonas testigo, para la obtención del promedio

de las plantas se tomaron los dos testigos como un solo grupo muestral, mientras que para este estudio el promedio del contenido de humedad se realizó separando las unidades testigo según la exposición. Por otra parte, para el ensayo de Parrón, ocurrió algo similar, ya que en el estudio realizado por Faúndez el promedio de las plantas se obtuvo de todo el sector, mientras que para obtener el promedio del contenido de humedad se seccionó el ensayo en dos sectores lo que implicó que la exposición norte quedara sin unidad testigo. Por esto es que los valores de contenido de humedad y altura no es conveniente relacionarlos, ya que no se estarían comparando zonas con similares condiciones.

7.3. Resumen de los resultados y los análisis

Conforme con los resultados y análisis obtenidos para los distintos ensayos, a continuación se presenta una tabla resumen, con el propósito de agrupar los datos y situaciones que se presentaron. Así, se logró clasificar la situación de cada ensayo en función de la comparación que se realizó entre el contenido de humedad promedio del suelo, para los distintos tratamientos, y la altura promedio de las plantas.

TABLA N° 24. RESUMEN DE RESULTADOS Y LAS SITUACIONES QUE SE OBTUVIERON PARA CADA ENSAYO

Ensayos	Textura	Rango Da	Tipo de uso anterior	Situación
Hidango	Franco arcillo arenoso	0.50	Pastoreo	Sí
La Rosa	Franco arcilloso	0.42	Suelo descubierto	No
Pumanque	Franco arcillo arenoso	0.51	Pastoreo	Sí
Name	Franco arcillo arenoso	0.61	Pastoreo	Sí
Parrón oeste	Arcilloso	0.75	Plantación de pino radiata	NPC
Parrón norte	Arcilloso	0.75	Plantación de pino radiata	NPC
Botacura oeste	Franco arenoso	0.69	Plantación de pino radiata	NPC
Botacura noeste	Franco arenoso	0.69	Plantación de pino radiata	NPC
Llohué	Franco arcilloso	0.76	Plantación de pino radiata	Sí
Manzanares	Franco arcilloso	0.45	Siembra de trigo	No

Situación: Unidad testigo presentó mayor contenido de humedad que los demás ensayos y la menor altura promedio de las plantas.

Sí: se cumple situación 1; No: no se cumple situación 1

NPC: No es posible hacer comparaciones

De acuerdo con la Tabla N° 24, y la comparación que se realizó entre la altura de las plantas y el contenido de humedad del suelo, se puede apreciar que la situación que más se repite, en los ensayos en que es válida la comparación, es que en la unidad testigo se presentó mayor contenido de humedad promedio del suelo que en los demás tratamientos y

una altura promedio de las plantas menor que en los demás tratamientos. Esto ocurre en los ensayos de Pumanque, Hidango, Name y Llohué.

Sin embargo e independiente de la cantidad de humedad que se presentó en la unidad testigo, existe una tendencia clara relacionada con éste, cual es que la altura de las plantas fue menor que en los demás tratamientos. De esta forma, se podría inferir que la unidad testigo presenta menor capacidad para captar agua que pueda estar disponible para el desarrollo de las plantas.

TABLA N° 25. RESUMEN DE RESULTADOS DE INTERACCIÓN PARA LAS VARIABLES EVALUADAS

Ensayos	Interacción entre factores					
	A - C	B - C	D - C	A - D	B - A	B - D
Pumanque	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
Hidango	No	No	No	Sí	Sí	No
La Rosa	No	No	No	Sí	Sí	No
Parrón oeste	Sí	No	No	Sí	No	No
Parrón norte	No	No	No	Sí	No	Sí
Botacura oeste	No	No	No	No	No	No
Botacura noeste	Sí	No	No	Sí	No	Sí
Name	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí
Llohué	No	No	No	Sí	Sí	No
Manzanares	No	Sí	No	Sí	No	Sí
Porcentaje con interacción	40%	10%	20%	90%	40%	30%

A - C: Tratamiento - Tiempo

B - C: Profundidad - Tiempo

D - C: Ubicación - Tiempo

A - D: Tratamiento - Ubicación

B - D: Profundidad - Ubicación

En la tabla N° 25 se muestra la presencia de interacción que presentaron los distintos tratamientos; de esta forma se puede ver que las interacciones entre los factores tratamiento y ubicación, arrojaron la presencia de la mayor interacción, lo que según Montgomery (2004), explicaría que la variabilidad del comportamiento del contenido de humedad se debería principalmente a estos factores. De esta forma, se podría decir que los distintos tratamientos respecto de su ubicación en la ladera, generan cambios importantes en el comportamiento del contenido de humedad de los suelos.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Conforme a los análisis obtenidos, se puede decir que el contenido de humedad en el suelo, presentó gran variabilidad en su comportamiento, lo que podría responder a que los suelos evaluados presentan una densidad aparente muy variable en el espacio, ya que estos suelos estaban prácticamente descubiertos, puesto que al momento de evaluar el contenido de humedad en el suelo, las plantas sólo tenían 1 año.

Por otro parte, respecto de las interacciones evaluadas se determinó que en general, en todos los ensayos a 60 cm de profundidad, se presentó mayor contenido de humedad que a los 30 cm, lo que determinaría que los procesos de infiltración se han verificado claramente.

Además, al realizar comparaciones entre el contenido de humedad promedio y la altura promedio de las plantas, se pudo apreciar que cuando la unidad testigo presentó mayor contenido de humedad que los demás tratamientos, ello no se refleja en el crecimiento de las plantas; esto se debería a que el agua que se cuantificó en el suelo, no estaría disponible para las plantas.

Las interacciones entre los factores tratamiento y ubicación, arrojaron la presencia de la mayor interacción; esto explicaría que la variabilidad del comportamiento del contenido de humedad se debería principalmente a la ubicación en la ladera.

8.2 Recomendaciones

- Es necesario indicar que este estudio sólo constituye una referencia de lo que pueda suceder a futuro con el contenido de humedad, por lo que sería importante continuar en esta misma línea de investigación y posteriormente seguir realizando estudios en años posteriores.
- Además, sería importante realizar estudios posteriores que comparen el contenido de humedad con la altura de las plantas u otras variable de crecimiento, de esta forma se podría cuantificar la eficiencia de las zanjas y subsolados.
- También cabe destacar, la realización de estudios posteriores por medio de otras técnicas de conservación de aguas y suelos, que permitan determinar el contenido de humedad en lapsos más cortos, ya que esto permitiría cuantificar el agua existente en el suelo de una manera más eficiente, pudiendo dar paso de una silvicultura extensiva a una intensiva.
- Se recomienda estudiar el posicionamiento espacial de las plantas, con respecto a las líneas de subsolado y de zanjas de infiltración, para ver si la influencia de las obras sobre el crecimiento de las plantas es uniforme o se concentra en algún sector específico.
- Finalmente, se recomienda generar mayores líneas de investigación en estas materias con el objetivo de desarrollar una mayor tecnología en el diseño e implementación de obras de conservación de aguas y suelos, con el fin de optimizar su uso.

9. BIBLIOGRAFÍA

- BLAKE, G. HARTAGE, K. 1985. Bulk Density in Klute: Methods of soil analysis. Part I. Physical and Mineralogic Methods. Agronomy monograph 9. 375 p.

- BONILLA, A. BONOMELLI, C. URRUTIA, C. 2002. Distribución espacial y temporal de la precipitación y la humedad del suelo en tres sitios forestales de la VIII Región de Chile. Agric. Téc. online. vol.62, n4.541-554 p. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S036528072002000400006&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0365-2807.

- CONAMA. 2004. Recursos naturales de la región 2004 (en línea). Chile. Disponible en <http://www.conama.cl/portal/1255/article-26179.html> Consultado 11 de agosto de 2004.

- CONAF. 1999. Decreto Ley N° 701 sobre Fomento Forestal y Ley de Bosques de 1974. Textos legales vigentes sobre fomento forestal. Santiago, Chile. 76 p.

- CONAF. 2004. Extensión de la desertificación en Chile 2004 (en línea). Chile. Disponible en http://www.conaf.cl/?page=home/contents&seccion_id=8ad00d8dd61d22aa152575a1e5c08e58&unidad=0& Consultado 12 de agosto de 2004.

- DANIEL, T.; JOHN H.; FREDERICK, B. 1982. Principios de silvicultura. Editorial Mc Grall-Hill. México. S.A. 569 p.

- DONOSO, C. 1994. Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente. 4ª ed. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 209 p.

- EIAS. 2004. (en línea). Chile. Disponible en <http://www.eias.utralca.cl> Consultado el 26 de agosto de 2004.

- FAESBENDER, H.1975. Química de Suelos: Con énfasis en suelos de América Latina. Editorial Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba. San José, Costa Rica. 202 p.

- FAÚNDEZ, M. 2004. Análisis comparativo del desarrollo de plántulas de *Pinus radiata* D. Don y de la retención del suelo erosionado, en obras de conservación de aguas y suelos. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 62 p.

- FORSYTHE, W. 1975. Física de Suelos: Manual de laboratorio. Ed. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba, Costa Rica. 142 p.

- GIL, G. 2001. El Comportamiento Físico - Funcional De Los Suelos (en línea). Argentina. <http://www.elsitioagricola.com/alticulos/gil/comportamiento%20fisico-funcional%20%20suelos.asp>. Consultado 3 Junio de 2004.

- GÓMEZ, G. 2000. Análisis del efecto de factores de subsolado fertilización y control de malezas en el crecimiento de plantaciones de *Pinus radiata* (D. Don), en la zona de Constitución VII Región. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 55 p.

- HONORATO, R. 1993. Manual de edafología. Primera edición. Universidad Católica de Chile. Editorial Universitaria. 196 p.

- INIA, 2001. Diagnóstico sobre el estado de degradación del recurso suelo en el país. Boletín INIA N° 15. Editores: Claudio Pérez C.; Jorge González U. INIA Chillán, Chile. 190 p.

- MONTGOMERY, D. 2004. Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 589 p.

- MOURGUES, V. 1998. Zanjas de Infiltración. Unidad de Estudios y Medio Ambiente. CONAF VII Región. Revista Chile Forestal. Chile. N° 259: 28-29.

- PAREDES, G. 2002. Efectos del subsolado en la distribución espacial y temporal del contenido de agua edáfica en una plantación joven de *Pinus radiata* (D. Don), en la zona de Valdivia, X Región. Tesis Ing. Forestal. Valdivia. Universidad Austral de Chile. 49 p.

- PERALTA, M. 1995. Conservación y degradación de suelos en Chile: Perfil ambiental de Chile. Comisión Nacional del Medio Ambiental. CONAMA. 569 p.

- PÉREZ, H. 2001. Evaluación de productividad de *Pinus radiata* (D. Don) asociado a zanjas de infiltración. Llongocura, VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 72 p.

- PIZARRO, R.; SANGUESA C.; FLORES, J.; MARTÍNEZ, E.; PONCE, M. 2002. Proyecto Determinación de Estándares de Ingeniería en Obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos para la Mantención e Incremento de la Productividad Silvícola. Sociedad de estándares de Ingeniería para aguas y suelos Ltda. Talca, Chile. Impresora Gutenberg. 111 p.

- RÁZARI, R. 1986. Estructuras de Conservación de Suelos y Aguas, Serie: Riego y Drenaje. Editorial Universitaria. Santiago. Chile. 1 – 8 p.

- SAAVEDRA, J. 1999. Análisis comparativo de técnicas de recuperación de suelo en áreas degradadas; efecto de la humedad del suelo la sobrevivencia y crecimiento de *Pinus radiata* (D. don), Microcuenca del Estero Barroso, VII Región. Tesis Ing. Forestal. Talca. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 75 p.

- SCHEFLER W, 1985. Bioestadística. Segunda edición. Fondo Educativo Interamericano S.A. México. 267 p.

- SOTO, G. 1997. Diagnóstico de la Desertificación en Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 399 p.

- TAUCHER, E. 1997. Bioestadística. Editorial Universitaria. Santiago, Chile. 310 p.

- URRUTIA, C. 2000. Efecto del uso de obras de conservación sobre las características del suelo y el rendimiento de maíz y sorgo en el sur de Honduras. EAP. 59 p. Honduras. Disponible en http://www.fao-sict.un.hn/ensayos/013_efecto_uso.htm Consultado 20 Octubre de 2004.

- ZIMMERMANN, M.; BROWN, C. 1980. Trees structure and function. Columbia University Press. New York. 336 p.

ANEXO 1

Fórmulas para calcular los componentes de análisis

TABLA DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA CUATRO FACTORES

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Cuadrado Medio Esperado	F ₀
A: Tiempo	SS _A	a-1	MS _A	$\frac{\sigma^2 + (bcdn \sum \tau_i^2)}{a-1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B: Tratamiento	SS _B	b-1	MS _B	$\frac{\sigma^2 + (acd n \sum \beta_j^2)}{b-1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
C: Profundidad	SS _C	c-1	MS _C	$\frac{\sigma^2 + (abdn \sum \gamma_k^2)}{c-1}$	$\frac{MS_C}{MS_E}$
D: Ubicación	SS _D	d-1	MS _D	$\frac{\sigma^2 + (abcn \sum \delta_l^2)}{d-1}$	$\frac{MS_D}{MS_E}$
AB	SS _{AB}	(a-1)(b-1)	MS _{AB}	$\frac{\sigma^2 + (cdn \sum \sum \tau\beta_i^2)}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS _{AC}	(a-1)(c-1)	MS _{AC}	$\frac{\sigma^2 + (bdn \sum \sum (\tau\gamma)_{ik}^2)}{(a-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{AC}}{MS_E}$
AD	SS _{AD}	(a-1)(d-1)	MS _{AD}	$\frac{\sigma^2 + (bcn \sum \sum (\tau\delta)_{il}^2)}{(a-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{AD}}{MS_E}$
BC	SS _{BC}	(b-1)(c-1)	MS _{BC}	$\frac{\sigma^2 + (adn \sum \sum (\beta\gamma)_{jk}^2)}{(b-1)(c-1)}$	$\frac{MS_{BC}}{MS_E}$
BD	SS _{BD}	(b-1)(d-1)	MS _{BD}	$\frac{\sigma^2 + (acn \sum \sum (\beta\delta)_{jl}^2)}{(b-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{BD}}{MS_E}$
CD	SS _{CD}	(c-1)(d-1)	MS _{CD}	$\frac{\sigma^2 + (abn \sum \sum (\gamma\delta)_{kl}^2)}{(c-1)(d-1)}$	$\frac{MS_{CD}}{MS_E}$
ERROR	SS _E	abcd (n-1)	MS _E	σ^2	
TOTAL	SS _T	Abcdn-1			

Fórmulas para Determinar la Suma de los Cuadrados

Suma de los Cuadrados Totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d \sum_{m=1}^n y_{ijklm}^2 - (y^2 \dots \div abcdn)$$

Suma de los Cuadrados Parciales

$$SS_A = 1 \div bcdn \sum_{i=1}^a y_{i\dots}^2 - (y_{i\dots}^2 \div abcdn)$$

$$SS_B = 1 \div acdn \sum_{j=1}^b y_{j\dots}^2 - (y_{j\dots}^2 \div abcdn)$$

$$SS_C = 1 \div abdn \sum_{k=1}^c y_{k\dots}^2 - (y_{k\dots}^2 \div abcdn)$$

$$SS_D = 1 \div abc n \sum_{l=1}^d y_{l\dots}^2 - (y_{l\dots}^2 \div abcdn)$$

Suma de los Cuadrados de las Interacciones

$$SS_{AB} = (1 \div cdn) \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij\dots}^2 - (y_{\dots}^2 \div abcdn) - SS_A - SS_B$$

$$SS_{AC} = (1 \div bdn) \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y_{ik\dots}^2 - (y_{\dots}^2 \div abcdn) - SS_A - SS_C$$

$$SS_{AD} = (1 \div bcn) \sum_{i=1}^a \sum_{l=1}^d y_{il\dots}^2 - (y_{\dots}^2 \div abcdn) - SS_A - SS_D$$

$$SS_{BC} = (1 \div adn) \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y_{jk\dots}^2 - (y_{\dots}^2 \div abcdn) - SS_B - SS_C$$

$$SS_{BD} = (1 \div acn) \sum_{j=1}^b \sum_{l=1}^d y_{jl\dots}^2 - (y_{\dots}^2 \div abcdn) - SS_B - SS_D$$

$$SS_{CD} = (1 \div abn) \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^d y_{kl\dots}^2 - (y_{\dots}^2 \div abcdn) - SS_C - SS_D$$

Suma de los Cuadrados del Error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{AD} - SS_{BC} - SS_{BD} - SS_{CD}$$

APÉNDICE 1

Análisis Preliminar Para el Contenido de Humedad; resultados de los supuestos de Homocedasticidad y de Normalidad, para cada uno de los ensayos

Supuestos de Homocedasticidad

Resultados de la aplicación de las pruebas estadísticas de Cochran's y Bartlett's para verificar el supuesto de homocedasticidad

Ensayo	Valor p		Decisión
	Cochran's	Bartlett's	
Pumanque	0,0542	0,0811	Aceptar Ho
Hidango	0,8193	0,8866	Aceptar Ho
La Rosa	0,1039	0,1744	Aceptar Ho
Parrón norte	0,3927	0,1506	Aceptar Ho
Parrón oeste	0,3997	0,3997	Aceptar Ho
Botacura oeste	0,3820	0,3819	Aceptar Ho
Botacura noroeste	0,1167	0,2093	Aceptar Ho
Name	0,0128	0,0256	Rechazar Ho
Llohué	0,5991	0,6458	Aceptar Ho
Manzanares	0,6290	0,5933	Aceptar Ho

Se puede observar que el supuesto de homocedasticidad se cumple en todos los ensayos a excepción de Name; “sin embargo, el análisis paramétrico se aplicó en todos los ensayos, ya que si se observan las varianzas de los datos de contenido de humedad, éstas se comportan homogéneas en su mayoría, por lo que no es relevante hacer la excepción para un solo ensayo”¹.

¹ Icaza, G. 2004. Profesora Estadística Universidad de Talca, 2004.

Supuesto de Normalidad

Resultados de la aplicación de la prueba estadística Shapiro Wilks para verificar el supuesto de normalidad

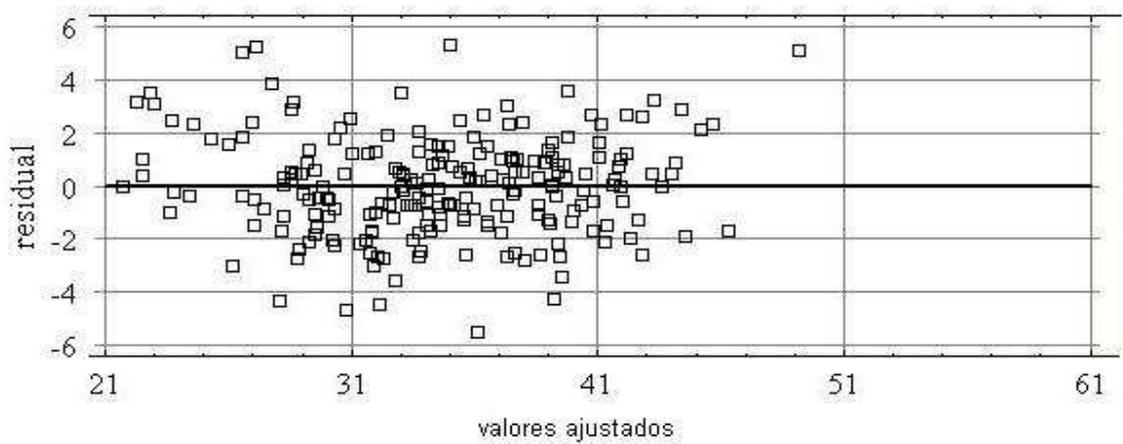
Ensayo	Tratamiento	Contenido de Humedad	
		Valor p	Decisión
Pumanque	Testigo	0,0584	Aceptar Ho
	Zanjas 1	0,9984	Aceptar Ho
	Zanjas 2	0,0584	Aceptar Ho
Hidango	Testigo	0,0245	Rechazar Ho
	Subsolado 1	0,0648	Aceptar Ho
	Subsolado 2	0,0785	Aceptar Ho
	Zanjas 1	0,4568	Aceptar Ho
	Zanjas 2	0,4986	Aceptar Ho
La Rosa	Testigo	0,0874	Aceptar Ho
	Subsolado 1	0,2555	Aceptar Ho
	Subsolado 2	0,1456	Aceptar Ho
Parrón 1	Testigo	0,2456	Aceptar Ho
	Subsolado 1	0,4672	Aceptar Ho
	Subsolado 2	0,4589	Aceptar Ho
Parrón 2	Zanjas 1	0,2154	Aceptar Ho
	Zanjas 2	0,5562	Aceptar Ho
Botacura 1	Testigo	0,8796	Aceptar Ho
	Zanjas 1	0,4656	Aceptar Ho
Botacura 1	Testigo	0,1346	Aceptar Ho
	Subsolado 1	0,2466	Aceptar Ho
	Subsolado 2	0,0546	Aceptar Ho
	Zanjas 2	0,2646	Aceptar Ho
	Testigo	0,2646	Aceptar Ho
Name	Zanjas 1	0,0011	Rechazar Ho
	Zanjas 2	0,0987	Aceptar Ho
	Testigo	0,4587	Aceptar Ho
Llohué	Zanjas 1	0,1466	Aceptar Ho
	Zanjas 2	0,5646	Aceptar Ho
	Testigo	0,4578	Aceptar Ho
Manzanares	Subsolado 1	0,8459	Aceptar Ho
	Subsolado 2	0,9667	Aceptar Ho
	Zanjas 1	0,4586	Aceptar Ho
	Zanjas 2	0,0147	Rechazar Ho

Se puede observar la de normalidad se cumple en la mayoría de los casos, por lo que se verifica que los datos pueden ser analizados paramétricamente.

APÉNDICE 2

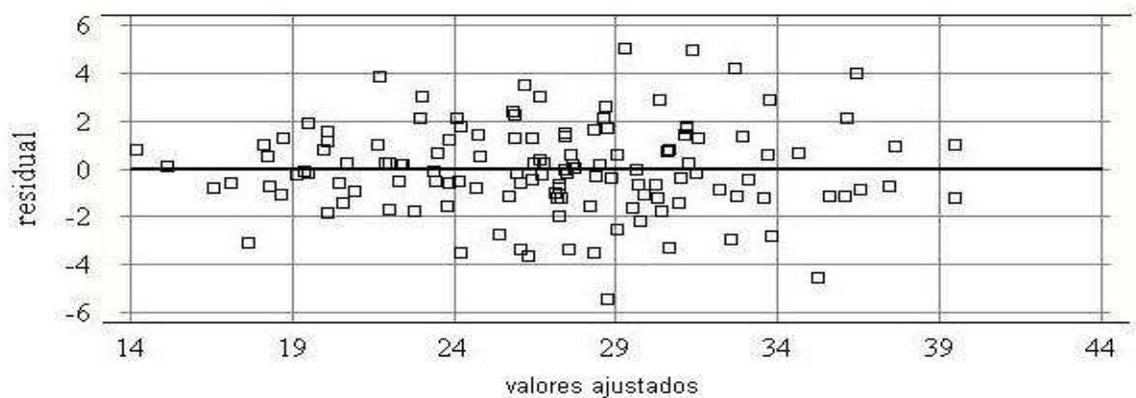
Supuesto de homocedasticidad; gráficos de residuos para cada ensayo

Hidango



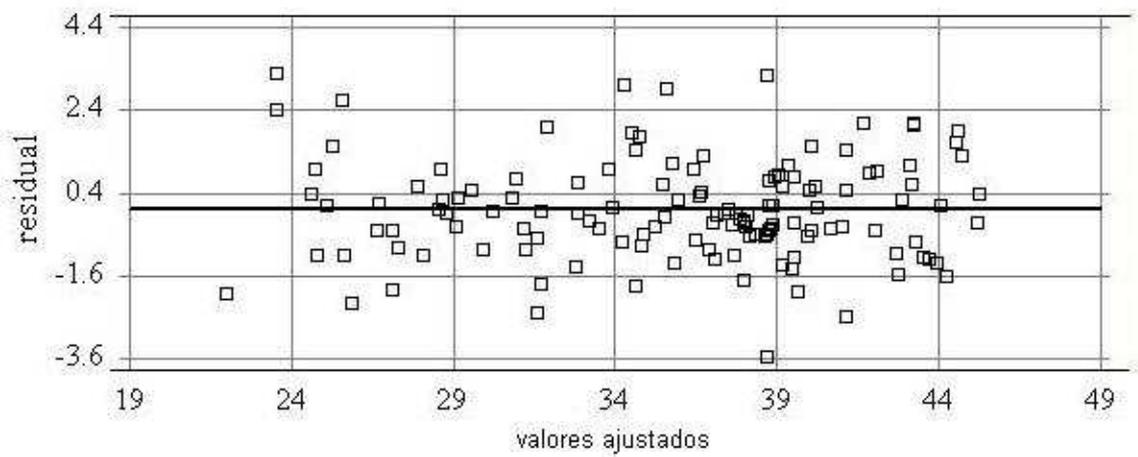
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO HIDANGO

La Rosa



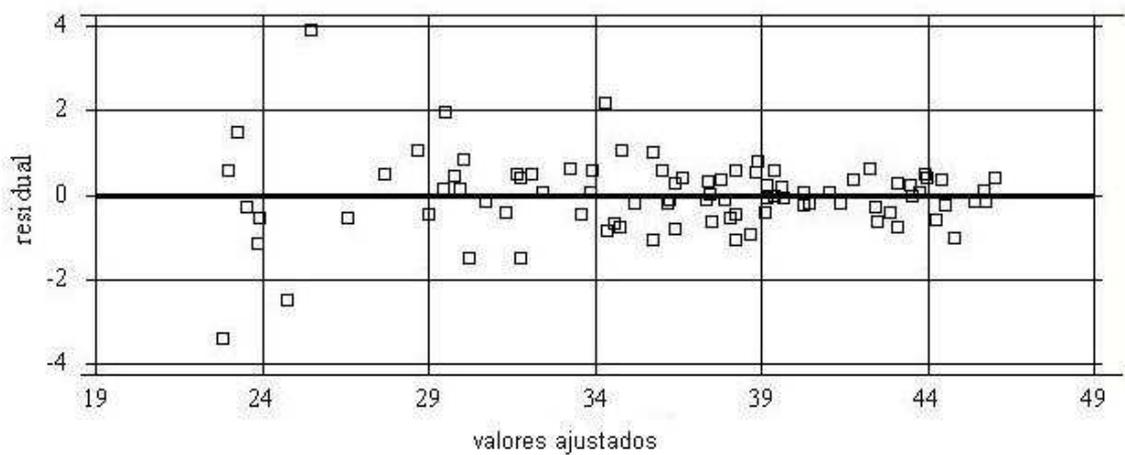
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO LA ROSA

Parrón exposición oeste



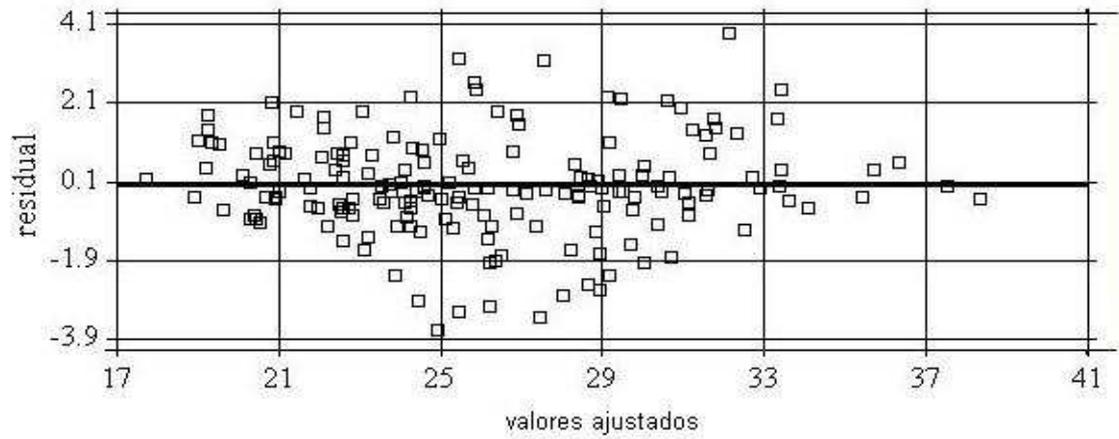
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO PARRÓN EXPOSICIÓN OESTE

Parrón exposición norte



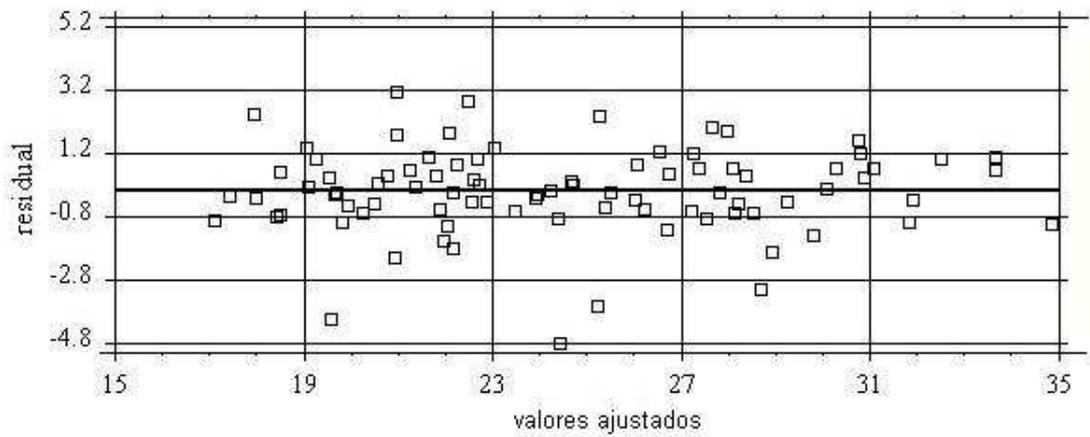
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO PARRÓN EXPOSICIÓN NORTE

Botacura exposición oeste



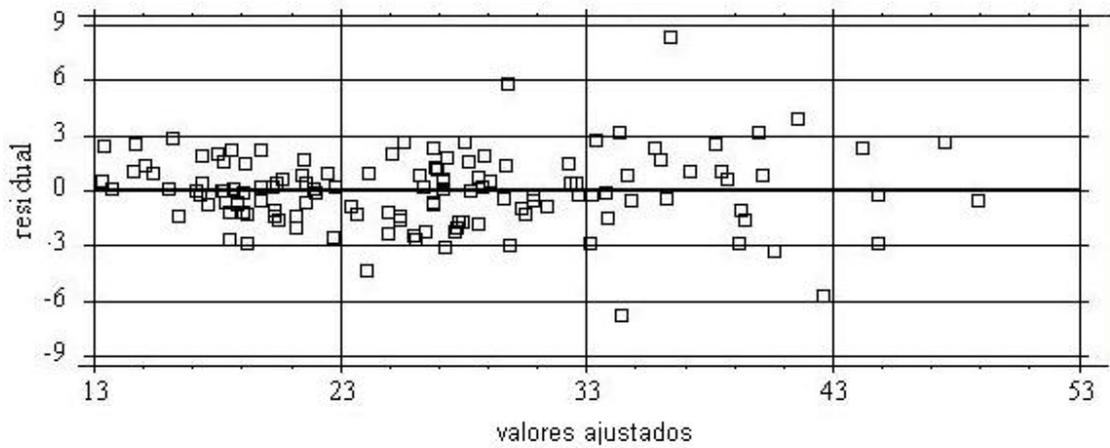
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO BOTACURA EXPOSICIÓN OESTE

Botacura exposición noreste



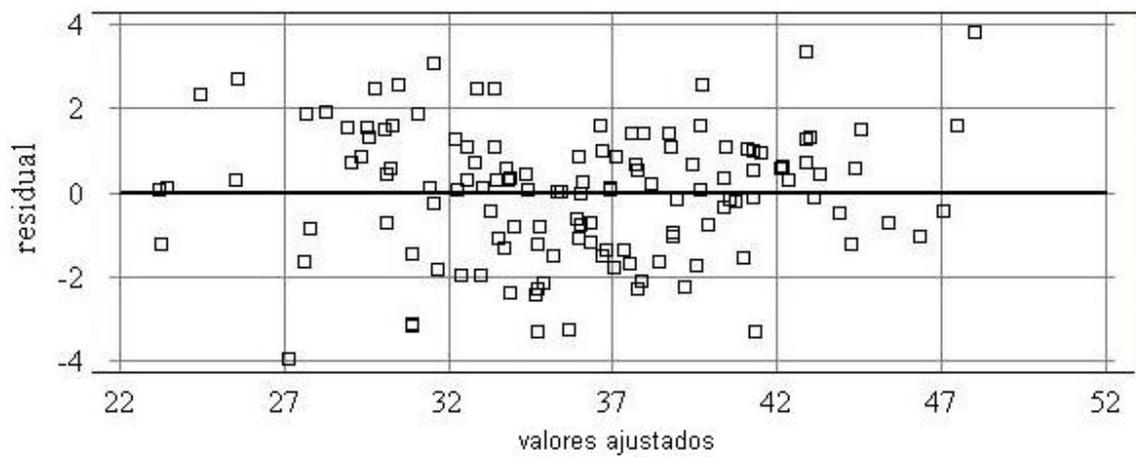
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO BOTACURA EXPOSICIÓN NOROESTE

Name



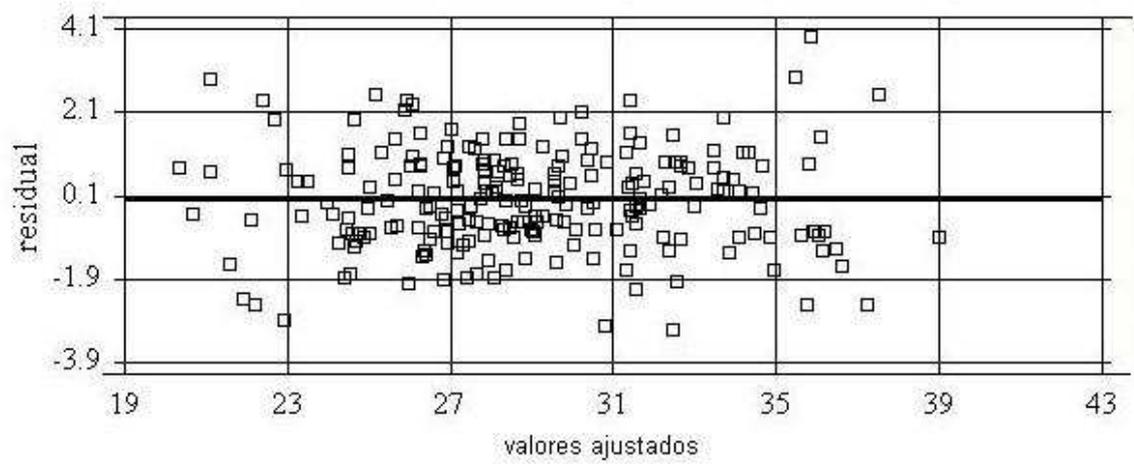
GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO NAME

Llohué



GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO LLOHUÉ

Manzanares



GRÁFICA DE RESIDUALES CONTRA VALORES AJUSTADOS, ENSAYO MANZANARES

APÉNDICE 3

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Botacura exposición noreste

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F ₀	P ₀
Efectos					
A: Tiempo	1988,75	10	198,875	72,06	0,0000
B: Profundidad	90,3335	1	90,3335	32,73	0,0000
C: Tratamiento	380,003	3	126,668	45,9	0,0000
D: Ubicación	109,857	1	109,857	39,81	0,0000
Interacción					
A - B	45,0437	10	4,50437	1,63	0,1077
A - C	206,91	30	6,89701	2,5	0,0003
A - D	33,2839	10	3,32839	1,21	0,2959
B - C	4,18587	3	1,39529	0,51	0,6793
B - D	11,4699	1	11,4699	4,16	0,0440
C - D	366,67	3	122,223	44,29	0,0000
Error	284,257	103	2,75977		
Total	3520,77	175			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Botacura exposición oeste

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F ₀	P ₀
Efectos					
A: Tiempo	1296,7	10	129,67	33,58	0,0000
B: Profundidad	79,5911	1	79,5911	20,61	0,0000
C: Tratamiento	233,644	1	233,644	60,51	0,0000
D: Ubicación	21,4732	1	21,4732	5,56	0,0232
Interacción					
A - B	70,038	10	7,0038	1,81	0,0886
A - C	31,1997	10	3,11997	0,81	0,6222
A - D	17,1941	10	1,71941	0,45	0,9147
B - C	14,1681	1	14,1681	3,67	0,0624
B - D	2,14219	1	2,14219	0,55	0,4685
C - D	4,48656	1	4,48656	1,16	0,2874
Error	158,322	41	3,8615		
Total	1928,96	87			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Hidango

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F₀	P₀
Efectos					
A: Tiempo	3506,09	10	350,609	61,87	0,0000
B: Profundidad	645,184	1	645,184	113,85	0,0000
C: Tratamiento	698,691	4	174,673	30,82	0,0000
D: Ubicación	233,048	1	233,048	41,12	0,0000
Interacción					
A - B	80,2015	10	8,02015	1,42	0,1800
A - C	178,5	40	4,46249	0,79	0,8074
A - D	73,0598	10	7,30598	1,29	0,2427
B - C	182,981	4	45,7453	8,07	0,0000
B - D	1,00508	1	1,00508	0,18	0,6788
C - D	868,227	4	217,057	38,30	0,0000
Error	759,401	134	5,66717		
Total	7226,38	219			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo La Rosa

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F₀	P₀
Efectos					
A: Tiempo	1525,52	10	152,552	24,66	0,0000
B: Profundidad	813,888	1	813,888	131,57	0,0000
C: Tratamiento	250,835	2	125,417	20,27	0,0000
D: Ubicación	39,941	1	39,941	6,46	0,0132
Interacción					
A - B	24,3602	10	2,43602	0,39	0,9454
A - C	165,831	20	8,29157	1,34	0,1831
A - D	20,0377	10	2,00377	0,32	0,9722
B - C	273,673	2	136,837	22,12	0,0000
B - D	24,778	1	24,778	4,01	0,0491
C - D	570,855	2	285,427	46,14	0,0000
Error	445,398	72	6,18609		
Total	4155,12	131			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Llohué

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F₀	P₀
Efectos					
A: Tiempo	2725,25	10	272,525	65,36	0,0000
B: Profundidad	12,2123	1	12,2123	2,93	0,0913
C: Tratamiento	171,988	2	85,9939	20,63	0,0000
D: Ubicación	112,554	1	112,554	27,00	0,0000
Interacción					
A - B	42,3403	10	4,23403	1,02	0,4392
A - C	89,7817	20	4,48909	1,08	0,3919
A - D	50,3912	10	5,03912	1,21	0,3003
B - C	41,9706	2	20,9853	5,03	0,0090
B - D	6,15773	1	6,15773	1,48	0,2282
C - D	689,967	2	344,983	82,74	0,0000
Error	300,195	72	4,16937		
Total	4242,81	131			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Manzanares

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F₀	P₀
Efectos					
A: Tiempo	2442,81	10	244,281	104,01	0,0000
B: Profundidad	40,3347	1	40,3347	17,17	0,0001
C: Tratamiento	193,998	4	48,4995	20,65	0,0000
D: Ubicación	78,7447	1	78,7447	33,53	0,0000
Interacción					
A - B	62,2923	10	6,22923	2,65	0,0055
A - C	114,595	40	2,86487	1,22	0,2014
A - D	11,3954	10	1,13954	0,49	0,8973
B - C	16,7739	4	4,19347	1,79	0,1354
B - D	43,4054	1	43,4054	18,48	0,0000
C - D	106,495	4	26,6237	11,34	0,0000
Error	314,72	134	2,34866		
Total	3425,57	219			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Name

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F₀	P₀
Efectos					
A: Tiempo	4223,65	10	422,365	57,28	0,0000
B: Profundidad	238,442	1	238,442	32,34	0,0000
C: Tratamiento	2503,44	2	1251,72	169,76	0,0000
D: Ubicación	575,879	1	575,879	78,10	0,0000
Interacción					
A - B	112,97	10	11,297	1,53	0,1458
A - C	318,587	20	15,9293	2,16	0,0093
A - D	243,785	10	24,3785	3,31	0,0014
B - C	10,1871	2	5,09357	0,69	0,5045
B - D	37,1743	1	37,1743	5,04	0,0278
C - D	345,586	2	172,793	23,43	0,0000
Error	530,904	72	7,37366		
Total	9140,6	131			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Pumanque

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F₀	P₀
Efectos					
A: Tiempo	1952,65	10	195,265	82,57	0,0000
B: Profundidad	485,607	1	485,607	205,34	0,0000
C: Tratamiento	184,83	2	92,4152	39,08	0,0000
D: Ubicación	165,939	1	165,939	70,17	0,0000
Interacción					
A - B	35,7558	10	3,57558	1,51	0,1528
A - C	103,628	20	5,18139	2,19	0,0083
A - D	53,5952	10	5,35952	2,27	0,0228
B - C	111,793	2	55,8967	23,64	0,0000
B - D	4,61441	1	4,61441	1,95	0,1667
C - D	139,108	2	69,5538	29,41	0,0000
Error	170,269	72	2,36484		
Total	3407,79	131			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Parrón exposición oeste

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F ₀	P ₀
Efectos					
A: Tiempo	3516,91	10	351,691	128,32	0,0000
B: Profundidad	69,1507	1	69,1507	25,23	0,0000
C: Tratamiento	226,298	2	113,149	41,28	0,0000
D: Ubicación	35,922	1	35,922	13,11	0,0005
Interacción					
A - B	43,14	10	4,314	1,57	0,1320
A - C	135,114	20	6,7557	2,46	0,0028
A - D	43,5748	10	4,35748	1,59	0,1271
B - C	2,00192	2	1,00096	0,37	0,6953
B - D	2,19455	1	2,19455	0,80	0,3834
C - D	292,96	2	146,48	53,44	0,0000
Error	197,337	72	2,74079		
Total	4564,6	131			

Resultados análisis multifactorial para el contenido de humedad; ensayo Parrón exposición norte

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	F ₀	
Efectos					
A: Tiempo	2433,6	10	243,36	141,24	0,0000
B: Profundidad	119,576	1	119,576	69,40	0,0000
C: Tratamiento	442,984	1	442,984	257,10	0,0000
D: Ubicación	1,74164	1	1,74164	1,01	0,3206
Interacción					
A - B	14,7724	10	1,47724	0,86	0,5786
A - C	16,7075	10	1,67075	0,97	0,4837
A - D	13,1645	10	1,31645	0,76	0,6616
B - C	0,684291	1	0,684291	0,40	0,5388
B - D	17,0896	1	17,0896	9,92	0,0031
C - D	300,588	1	300,588	174,45	0,0000
Error	70,6441	41	1,72303		
Total	3431,55	87			