

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

**ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE
PALMA CHILENA (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon)**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

PATRICK ALBERT LEWIN COVARRUBIAS

Profesor Guía: Ing. Forestal, Sr. Manuel Toral Ibáñez
Ing. Forestal, M. C., Sr. Roberto Garfias Salinas

SANTIAGO - CHILE.
2003

**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA DE CIENCIAS FORESTALES
DEPARTAMENTO DE MANEJO DE RECURSOS FORESTALES**

**ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO DE PALMA
CHILENA (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon)**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Forestal

Patrick Albert Lewin Covarrubias

Calificaciones:	Nota	Firma
Prof. Guía Sr. Manuel Toral I.	6,3
Prof. Guía Sr. Roberto Garfias S.	7,0
Prof. Consejero Sr. Mario Gallardo P.	5,5
Prof. Consejero Sr. Antonio Vita A.	6,5

SANTIAGO-CHILE

2003

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN

SUMMARY

1.-	INTRODUCCIÓN	1
2.-	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1.-	Antecedentes generales de la especie	2
2.1.1.-	Descripción	2
2.1.2.-	Hábitat.....	2
2.1.3.-	Germinación, desarrollo y crecimiento.....	3
2.2.-	El suelo y sus propiedades	4
2.2.1.-	Textura.....	4
2.2.2.-	Estructura.....	4
2.2.3.-	Densidad aparente.....	5
2.2.4.-	Porosidad.....	5
2.2.5.-	Color	5
2.2.6.-	Temperatura	6
2.3.-	Rol de los nutrientes	6
2.3.1.-	Macronutrientes	6
2.3.2.-	Micronutrientes	7
2.4.-	Fertilización.....	8
3.-	OBJETIVOS.....	9
3.1.-	Objetivo general.....	9
3.2.-	Objetivos específicos	9
4.-	MATERIAL Y MÉTODO	10
4.1.-	Material	10
4.1.1.-	Ubicación del ensayo.....	10
4.1.2.-	Material vegetal.....	10
4.1.3.-	Preparación del sitio	10
4.1.4.-	Fertilizante	11
4.1.5.-	Sombreaderos	11
4.2.-	Metodología	12
4.2.1.-	Diseño físico del ensayo	12
4.2.2.-	Muestras de suelo.....	12
4.2.3.-	Fertilización.....	14
4.2.4.-	Dosis de fertilización	14
4.2.5.-	Mediciones.....	15
4.2.6.-	Análisis de biomasa	16
4.2.7.-	Diseño estadístico.....	16

5.-	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
5.1.-	Resultados	18
5.1.1.-	Mediciones	18
5.1.2.-	Análisis de sobrevivencia	24
5.1.3.-	Análisis de biomasa	24
5.1.4.-	Análisis foliar	27
5.2.-	Discusión	29
5.2.1.-	Experimento A	29
5.2.2.-	Experimento B	34
6.-	CONCLUSIONES	42
6.1.-	Recomendaciones	43
7.-	BIBLIOGRAFÍA CITADA	44
	Apéndice I	47
	Apéndice II	49
	Apéndice III	51
	Apéndice IV	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Resultados del análisis de suelo NPK realizado en la zona de estudio, por cada calicata realizada y elemento.	13
Tabla 2.- Índices generales y categorías para interpretación de análisis de suelo.	13
Tabla 3.- Muestra de densidad aparente tomadas de forma aleatoria en la zona de plantación.	13
Tabla 4.- Mediciones de prendimiento y sobrevivencia por tratamiento para el experimento A en los años 2000 y 2001.	18
Tabla 5.- Número medio de hojas para el experimento A por tratamiento, en los períodos de septiembre de 2000 y marzo de 2001.	18
Tabla 6.- Valores medios por tratamiento para la calidad de la planta en el experimento A.	19
Tabla 7.- Mediciones promedio por tratamiento para el diámetro a la altura del cuello (DAC), para el experimento A en ambos períodos de medición.	19
Tabla 8.- Número y largo promedio de hojas de las muestras extraídas para análisis de biomasa para el experimento A, por tratamiento y repetición.	20
Tabla 9.- Número y largo promedio de raíces de plantas extraídas para análisis de biomasa para el experimento A, por tratamiento y repetición.	21
Tabla 10.- Mediciones de prendimiento y sobrevivencia por tratamiento para el experimento B en los años 2000 y 2001.	22
Tabla 11.- Número medio de hojas para el experimento B por tratamiento, en los períodos de septiembre de 2000 y marzo de 2001.	22
Tabla 12.- Valores medios por tratamiento para la calidad de la planta en el experimento B.	23
Tabla 13.- Mediciones promedio por tratamiento para el diámetro a la altura del cuello (DAC), para el experimento B en ambos períodos de medición.	23
Tabla 14.- Análisis de varianza factorial para la sobrevivencia del experimento A.	24
Tabla 15.- Análisis de varianza factorial para la Sobrevivencia del experimento B.	24
Tabla 16.- Análisis de varianza factorial para la planta completa (parte aérea más subterránea).	25
Tabla 17.- Análisis de varianza factorial para la parte aérea de planta.	25
Tabla 18.- Análisis de varianza factorial para la parte subterránea de la planta.	25
Tabla 19.- Análisis de varianza factorial para la planta completa (parte aérea más subterránea).	26

Tabla 20.- Análisis de varianza factorial para la parte aérea de la planta.....	27
Tabla 21.- Análisis de varianza factorial para la parte subterránea de la planta.....	27
Tabla 22.- Resultado del análisis foliar realizado a las plantas extraídas del experimento B en comparación a los datos obtenidos por Vega (2001).....	28
Tabla 23.- Características físicas del suelo en la zona de estudio, realizado para la calicata N° 1	47
Tabla 24.- Características físicas del suelo en la zona de estudio, realizado para la calicata N° 2.....	48
Tabla 25.- Tabla de análisis de varianza factorial (ANDEVA)	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Acumulación de biomasa promedio para el total de la planta por tratamiento y repetición. Experimento A.....	29
Figura 2.- Acumulación de biomasa promedio para la parte aérea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento A.....	30
Figura 3.- Acumulación de biomasa promedio para la parte subterránea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento A.....	31
Figura 4.- Muestra de plantas del tratamiento Testigo (T_0), experimento A.....	32
Figura 5.- Muestra de plantas del experimento A con 60 gramos de fertilizante, tratamiento T_1	33
Figura 6.- Acercamiento a las raíces de una planta del experimento A fertilizada con 60 gramos de fertilizante, tratamiento T_1	33
Figura 7.- Muestras de plantas del experimento A con 120 gramos de fertilizante, tratamiento T_2	34
Figura 8.- Acumulación de biomasa promedio para el total de la planta por tratamiento y repetición. Experimento B.....	35
Figura 9.- Acumulación de biomasa promedio para la parte aérea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento B.....	36
Figura 10.-Acumulación de biomasa promedio para la parte subterránea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento B.....	37
Figura 11.-A) Fotografía de plantas del experimento B a las que se les aplicó 60 gramos de fertilizante, tratamiento T_1 . B) Acercamiento a las raíces de una planta con 60 gramos de fertilizante, donde se observa el gran número de raíces que ésta posee.	38
Figura 12.-A) Fotografía de plantas del experimento B a las que se les aplicó 120 gramos de fertilizante, tratamiento T_2 . B) Fotografía de plantas a las que se les aplicó 180 gramos de fertilizante, tratamiento T_3	39
Figura 13.-Fotografía de plantas del experimento B a las que se les aplicó 360 gramos de fertilizante, tratamiento T_6	40

RESUMEN

Con el objetivo de estudiar los efectos que produce la fertilización en plantaciones de palma chilena y analizar los resultados obtenidos con respecto a la sobrevivencia de plantas e incremento en biomasa, se llevó a cabo un estudio experimental que consistió en la aplicación de distintas dosis de fertilizante a un universo de 30 parcelas que compartían iguales características edafo-climáticas, ubicadas en el sector Santa Teresa de Quiahue, Comuna de Lolol, VI Región.

Luego de un período de diez meses que incluyó la temporada estival (junio – abril), los resultados para cada tratamiento con distintas dosis de fertilizante fueron los siguientes:

- Los resultados obtenidos no permiten diferenciar, de forma estadística, los efectos de la fertilización sobre la sobrevivencia de palma chilena. Es decir, las diferencias encontradas en la sobrevivencia de los distintos experimentos, al cabo de una temporada, no puede ser atribuido a la aplicación de fertilizante.
- Bajo el análisis estadístico realizado a la acumulación de biomasa de toda la planta, la fertilización como práctica silvicultural al momento de la plantación de palma chilena no debe ser considerada como habitual, debido a que las ganancias adquiridas por la ejecución de dicha actividad no difieren sustancialmente de las que se obtendrían al no ser aplicada. En cambio, al separar los incrementos en biomasa y analizar independiente la parte aérea y subterránea de la planta, se observan diferencias estadísticamente significativas en el incremento de biomasa de raíces, encontrándose que la dosis de 60 gramos de fertilizante obtiene un mejor resultado.
- Por lo anterior, el incremento radicular, tanto en largo, número, cantidad de raíces y pelos radiculares, hace recomendable la aplicación fertilizante, debido a que, por la mejor calidad de éstas, se puede inferir un mejor desarrollo futuro de la planta y una mayor sobrevivencia.
- El análisis foliar efectuado, entregó como resultados que las plantas fertilizadas con 60 gramos de fertilizante obtienen un mayor nivel de macronutrientes, con valores cercanos al de una planta desarrollada en vivero.
- Finalmente, se puede concluir que es aconsejable la práctica silvicultural de fertilización con una dosis de 60 gramos, ya que económicamente no causa un gran impacto y permitiría asegurar un mejor desarrollo radicular en la plantas de palma, lo que se debe traducir en menor mortandad dentro de los primeros años de vida de la especie y un mayor desarrollo futuro.

Palabras Clave: *Jubaea chilensis*, Palma chilena, Fertilización, Tratamientos de suelo, Propagación.

SUMMARY

The purpose of this work is to study the effects of fertilization on Chilean Palm Plantations, and make an analysis of the results obtained with respect to the survival of plants and the increase of bio-mass. The results of the experiment are those obtained referred to lots that shared the same edaphoclimatic characteristics, situated in the sector *Santa Teresa de Quiahue, Comuna Lolol, Región VI*.

After a period of ten months, that included the growing period (June- April), the results for each treatment, with different doses of fertilizer, were the following:

- With the results obtained it was not possible to differentiate, statistically, the effects of fertilization on the survival of the Chilean Palm. This means that on the different experiments made after a period, the differences of the survival of the plants cannot be assigned to the fertilizer application.
- Under the statistical analysis made on the increase of bio-mass of all the plants, the fertilization under a silviculture practice at the moment of the planting of the Chilean Palm must not be considered as usual, because the gains obtained from this activity are not substantially different from the benefit that would be obtained if it were not done. However, when the biomass increase is separated, and above ground part, and the underground part of the plant are analyzed separately, we find statistical differences in increase of root biomass. We found that a use of 60 g of fertilizer gives better results.
- Therefore, the increase, in length, number, quantity of roots and root hairs, shows that is a good practice to use fertilizer applications, because due to the better quality of these factors it is possible to infer the future of the plant and its survival rate will be better.
- The result of foliar analysis made, shows that plants fertilized with 60 g of fertilizer obtain a better grade of macro-nutrients, with values near to those of a plant developed in a greenhouse.
- Finally, it is possible to conclude that in the silvicultural practice of fertilization it is advisable to use a dose of 60 g, because it is not expensive and it assures a better root development in palm plants, which can mean lesser mortality during the first years of the plant and better future development.

Key words: *Jubaea chilensis*, Palma chilena, Fertilization, Ground treatments, propagation.

1.- INTRODUCCIÓN

La palma chilena es una especie nativa cuya distribución día a día, se ve más restringida, llegando hoy a presentarse en muy pocas concentraciones. Forma un tipo forestal propio debido a sus características particulares, aún cuando, geográficamente se encuentra dentro del tipo forestal esclerófilo.

Debido al afán del hombre por obtener mayores ingresos económicos, lo que generalmente involucra explotaciones irracionales, ha llevado a esta especie casi a la extinción, quedando hoy gran cantidad de suelo degradado allí dónde anteriormente existían grandes palmares. Las causas fundamentales del deterioro se deben al consumo excesivo de su fruto, sin importar su regeneración en forma natural, la corta excesiva para producción de miel, quedando hoy sólo algunos representantes en zonas de difícil acceso que han debido ser protegidas por el Estado.

La belleza de esta especie, además de la variedad de productos que se pueden obtener de ella, la hace valiosa tanto en lo ornamental como en lo económico. Crece bajo condiciones medioambientales bastante desfavorables (zonas de secano), lo que la hace una propuesta productiva interesante para zonas áridas o semiáridas del país, lugares además en situación de pobreza en los que se hace necesario buscar nuevas opciones de desarrollo.

Debido a lo anterior, no cabe duda que la palma chilena es una de las especies nativas de la zona central potencialmente productiva que puede ir en ayuda de pequeños propietarios carentes de alternativas de uso para sus suelos. Estos generalmente se presentan degradados y erosionados producto del uso intensivo que han tenido en el pasado y que siguen teniendo en la actualidad, aunque con menor o casi nula productividad, suelos que no son económicamente rentables para otro tipo de plantaciones forestales y menos aún para la producción agrícola. De esta forma se puede crear un mercado de la palma que sea atractivo y que además ayude a recuperar la belleza que esta especie entrega al país.

Es importante destacar que, aunque la palma se encuentra en estado de conservación "vulnerable", es una de las especies menos investigadas en el país, tanto así, que en los últimos años se ha hecho un esfuerzo para recabar información sobre sus requerimientos para establecimiento (riego, sombra, suelo, entre otros aspectos), tipo de manejo, formas de viverización, tiempo de germinación y productividad.

En esta memoria de título se pretende probar una silvicultura de establecimiento intensiva para la palma chilena a través de la aplicación de distintas dosis de fertilizante en el momento del establecimiento y evaluar su influencia en la sobrevivencia e incremento en biomasa.

2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.- Antecedentes generales de la especie

La palma chilena es una especie nativa que está clasificada dentro de la división Angiospermae, clase Monocotiledoneae, familia Palmae y género *Jubaea*, su nombre científico es *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon aunque en la antigüedad fuera catalogada como *Jubaea spectabilis* (Rubinstein, 1969).

2.1.1.- Descripción

Es un árbol de frondosa copa formada por hojas llamadas “palmas” o “frondas” de hasta cuatro o cinco metros (Del Cañizo, 1991). Angulo (1985), describe las hojas de esta especie como pinado-compuestas con 110 a 120 pinas alternas por lado, coriáceas, perennes, sésiles, de color verde oscuras a amarillentas y de longitud variable.

Su tronco es recto, cilíndrico, de color pardo grisáceo y presenta un angostamiento en la parte superior, éste a su vez es decorado por las cicatrices en forma de rombos que dejan las hojas al caer (Angulo, 1985; Del Cañizo, 1991). Puede alcanzar hasta 30 metros de altura y un diámetro de 0,8 a 2,0 metros (Rubinstein, 1969).

La palma chilena tiene flores unisexuales diclino-monoicas. Su fruto es una drupa ovoide de cuatro centímetros de largo, con perigonio persistente. La semilla es esférica, de dos a dos centímetros y medio de diámetro, con tres poros germinativos circulares o elípticos ubicados hacia la parte inferior (Angulo, 1985).

2.1.2.- Hábitat

Según Donoso (1981b), el tipo forestal Palma chilena originalmente se distribuía entre los ríos Limarí y Maule. Sin embargo, en la actualidad se encuentra reducido a sólo algunos valles de la Cordillera de la Costa entre la provincia de Choapa y el sur de Colchagua. Por su parte Angulo (1985), informa la ubicación de esta especie desde Limarí hasta el río Mataquito, en las proximidades de Curicó.

La especie habita en hondonadas protegidas de la cordillera de la costa en que se desarrolla un microclima con diferentes grados de influencia marina, siendo su clima predominantemente mediterráneo. Se presenta en altitudes entre el nivel del mar y los 1600 msnm (Donoso, 1981b).

La calidad de suelos que ocupa esta especie es bastante variada, desde roqueríos y pedregales cordilleranos a suelos graníticos o suelos más profundos. Estos deben ser de buen drenaje, de textura franco-arenosa y pH de 5,5 – 7,0 en superficie (Rubinstein, 1969; Angulo, 1985).

2.1.3.- Germinación, desarrollo y crecimiento

De acuerdo a Angulo (1985), el proceso de germinación de esta especie puede durar de seis meses hasta cuatro años, siendo por lo general de 18 meses. Otros estudios exponen la importancia que el ganado tendría en el proceso germinativo de la especie, debido a que, caballares y vacunos se alimentan de la grama madura del fruto y vierten sobre éste jugos digestivos que mejoran su germinación; sin embargo señalan una duración de este período de dos, tres o más años (González y Vita, 1987).

Dentro de los niveles esperados de germinación, se plantea sólo un cinco por ciento de germinación durante el primer año y un 90 por ciento al completar los cuatro años, debido a esto, se han generado diversos estudios de tratamientos pre-germinativos y germinativos dentro de los que se puede destacar el realizado en las dependencias de la Hacienda Loncha, el que postula que la siembra de verano de semillas pre-tratadas en platabandas a nivel, muestra como resultado un 40 % de germinación en sólo cinco meses (Barrueto e Ibaceta, 1992). Por su parte Arrué (2000) y Vega (2001), en estudios recientes, presentan métodos pregerminativos que permitirían mejorar la germinación de la especie a través de remojo en ethrel y almacenaje en bolsa durante un período de 20 días antes de la siembra en un sustrato de maicillo y aserrín.

Para la plantación, Aravena (2003) recomienda la preparación del sitio mediante hoyadura y posteriormente riego cada 15 días, facilitando de esta manera un mejor desarrollo de biomasa en sus primeros años de vida. De la misma forma, Castillo (2001) recomienda la aplicación de riego durante el período de ausencia de lluvias lo que favorecería a las nuevas estructuras vegetativas.

Desde el momento de emerger, la palma sólo tiene incrementos en diámetro y no en altura, hasta formar completamente el estípote, período que puede durar de 15 a 20 años (Trafor, 1982). Por su parte Angulo (1985) plantea que este período culmina entre los 12 ó 14 años. Una vez alcanzado el diámetro definitivo comienza el crecimiento en altura, a razón de un anillo de hojas al año. En un principio este crecimiento es de sólo unos pocos centímetros al año, el que aumenta hasta llegar a tasas de ocho a 20 centímetros por año. Esta tasa se mantiene por 20 a 30 años y luego empieza a disminuir paulatinamente. Cuando alcanza una altura de ocho a nueve metros se produce el acinturamiento (brusca y característica disminución en el diámetro del tronco). Desde este momento, la tasa de crecimiento será de uno a tres centímetros por año (Trafor, 1982; Angulo, 1985).

En un primer momento las hojas de esta especie son lisas y sólo al quinto año aparece la primera hoja pinada. Desde este momento siguen apareciendo nuevas hojas, cada vez de mayor tamaño y mejor desarrolladas las que sólo alcanzarán el diámetro y tamaño de "palmas" adultas entre los 18 y 20 años (Angulo, 1985).

La fructificación de la palma sólo ocurre después de los 35 años, aunque generalmente como promedio se produce cerca de los 50 años. Solamente después que fructifica, alrededor de dos o tres años, se genera el proceso de acinturamiento (Angulo, 1985). Sin embargo, Consigny (1963) plantea que las inflorescencias aparecen inevitablemente al llegar a una altura de 10 a 12 metros lo que corresponde a un número de 80 a 90 cicatrices, llamando a esta característica "altura crítica".

Aunque su tasa de mortalidad es muy baja, lo que le permite alcanzar edades superiores a los 1000 años y alturas de hasta 35 metros, su principal causa de muerte es la pérdida de sustentación debido al deterioro de su base (Angulo, 1985).

2.2.- El suelo y sus propiedades

El suelo suministra a las plantas el agua, nutrientes minerales, aire para las raíces y el anclaje necesario para la sustentación, elementos necesarios para que éstas puedan vivir y desarrollarse en forma óptima (Donoso, 1981a).

En los mapas de suelos, éstos están clasificados según sus características físicas, las cuales pueden ser reconocidas por simple inspección visual. La mayoría de las propiedades químicas y biológicas se ven reflejadas a través de las propiedades físicas del suelo, las que a su vez, determinan casi por completo su capacidad productiva (Thompson y Troeh, 1982).

Dentro de las propiedades físicas del suelo más importantes se pueden nombrar la textura, estructura, densidad aparente, porosidad, color y temperatura (Donoso, 1981a; Peralta, 1980; Thompson y Troeh, 1982).

2.2.1.- Textura

La textura del suelo hace referencia a la proporción que tiene de arena, limo y arcilla (según el tamaño de las partículas que lo forman). De acuerdo con esto se establecen tres fracciones: arena (0,02 – 2 mm), limo (0,002 – 0,02 mm) y arcilla (menor a 0,002 mm) (Donoso, 1981a; Peralta, 1980; Thompson y Troeh, 1982).

Una forma de poder determinar la textura del suelo es a través del tacto y por la formación, con tierra húmeda, de distintas figuras. La presión del material entre el pulgar y los demás dedos puede dar características de su suavidad (limo) o falta de la misma (arena) (Thompson y Troeh, 1982).

2.2.2.- Estructura

La estructura hace referencia a la ordenación de las partículas en el suelo, es decir, cómo las partículas se agrupan en agregados mayores o terrones. La textura es uno de los factores más importantes que influyen en el proceso de agregación, si el suelo es rico en arena y limo no existe una ordenación estructural, debido a la ausencia de las propiedades aglutinantes de la arcilla, por lo tanto, una estructura bien desarrollada debe llevar un porcentaje de arcilla. Otro factor importante en la agregación es la presencia de materia orgánica, debido a que ésta es una estructura netamente coloidal que ayuda a la cementación de las partículas. La penetración de raíces y su posterior muerte, promueve también la agregación del suelo, en conjunto con organismos descomponedores como lombrices. Por último los cationes adsorbidos en las partículas de suelo ejercen una poderosa influencia en la agregación (Donoso, 1981a; Peralta, 1980; Thompson y Troeh, 1982).

Un suelo tiene buena estructura cuando contiene abundancia de poros grandes y pequeños, con lo cual el aire, el agua y la raíces se mueven libremente (Peralta, 1980).

2.2.3.- Densidad aparente

La densidad aparente del suelo se define como el peso seco de una unidad de volumen de suelo. El volumen de poros es una parte del volumen medido y depende de los contenidos de arena, limo y arcilla. La densidad aparente del suelo puede variar de uno a 1,6 g/cm³ (Donoso, 1981a; Thompson y Troeh, 1982).

La densidad aparente puede variar dentro de un mismo suelo debido, por ejemplo, a procesos de compactación, los que disminuyen el volumen de poros, incrementando el peso por unidad de volumen (Donoso, 1981a).

2.2.4.- Porosidad

La porosidad del suelo es el porcentaje de espacio poroso que existe en un suelo, es decir se define como la porción del suelo que está ocupada por aire o agua (Donoso, 1981a; Thompson y Troeh, 1982).

Para el cálculo de la porosidad del suelo se debe saber la densidad aparente y la densidad real del suelo (densidad real: peso de la muestra desecada en estufa dividido por el agua desplazada). La fórmula para el cálculo es (Donoso, 1981a):

$$\text{Porosidad} = 100 * \frac{\text{Densidad real} - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}}$$

2.2.5.- Color

Thompson y Troeh (1982), establecen que el color del suelo es una de las propiedades físicas importantes, debido a que sirve para reconocer los distintos tipos de terrenos, además de indicar ciertas propiedades físicas y químicas.

Por su parte Donoso (1981a), no reconoce al color como una característica importante pero sí de utilidad como indicador de otras características o condiciones, como por ejemplo el material parental del cual se originó el suelo.

El color del suelo puede ser heredado, si es indicador del material parental que le dio origen, o adquirido, si es indicador de procesos formadores del suelo como podzolización o laterización.

Existen varias clases de agentes que producen el color en el suelo como por ejemplo los compuestos de hierro y manganeso, ya que aportan diferentes coloraciones al suelo según su estado de oxidación o de hidratación. Cuando el suelo toma colores rojos y cafés rojizos, es porque los metales (hierro y manganeso) sufren abundante oxidación, lo que va ligado a un buen drenaje. Cuando los colores dominantes del suelo son grises y azules, es porque no hay suficiente oxidación de éstos metales, lo que implica un mal drenaje y por ende una mala aireación. Por otra parte, los suelos moteados son indicadores de drenaje imperfecto, es decir, sólo reciben oxígeno de forma periódica (Donoso, 1981a).

El color negro o café de los suelos es aportado por la materia orgánica. Cuando ésta no está bien descompuesta, los colores son más oscuros y a medida que los procesos de descomposición aumentan el color tiende al café. Debido a lo anterior en los bosques las capas superficiales (horizontes) son siempre de un color más oscuro (Donoso, 1981a; Thompson y Troeh, 1982).

2.2.6.- Temperatura

La temperatura de los suelos es un factor muy importante porque afecta variados procesos físico-químicos y biológicos. Una baja temperatura del suelo, por ejemplo, disminuye la tasa a que se realizan los procesos físicos, químicos y biológicos, afectando directamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La germinación se detiene con las bajas temperaturas, al igual que el crecimiento de raíces. Por el contrario, con temperaturas muy altas existe mayor mortalidad de plántulas y pérdidas de agua por evapotranspiración. La temperatura del suelo se ve afectada por el tipo de cubierta vegetal, latitud, longitud, exposición, pendiente, cantidad de hojarasca, color y contenido de agua (Donoso, 1981a; Thompson y Troeh, 1982).

2.3.- Rol de los nutrientes

Las plantas, como todo ser vivo, necesitan alimento para poder desarrollarse. Los nutrientes presentes en el suelo son su alimento y dentro de la gran variedad que se puede encontrar, existen tres que son fundamentales y absorbidos en mayor cantidad; nitrógeno, fósforo y potasio, denominados nutrientes principales, primarios o macronutrientes. Éstos en conjunto con carbono, hidrógeno y oxígeno constituyen un 90 a 99 % del peso seco de la planta, el resto lo constituyen los llamados nutrientes secundarios o micronutrientes como azufre, calcio, magnesio, manganeso, hierro, zinc, cobre, boro, molibdeno y cloro (Gros, 1986).

2.3.1.- Macronutrientes

2.3.1.1.- Nitrógeno (N)

Es el elemento más importante y el que la planta requiere en mayor cantidad. Además es el menos disponible debido a su gran movilidad dentro del sistema (Von Marees, 1988; González, 1993; Gros, 1986).

2.3.1.2.- Fósforo (P)

Los grupos fosfato, constituyen el principal agente de transferencia de energía, el ATP (Von Marees, 1988; González, 1993; Ignatieff, 1959).

2.3.1.3.- Potasio (K)

La función principal del potasio es de activador de las enzimas que intervienen en uniones peptídicas y en el metabolismo glucídico. También cumple funciones en el movimiento de apertura y cierre de estomas (Von Marees, 1988; González, 1993; Ignatieff, 1959).

2.3.2.- Micronutrientes

2.3.2.1.- Azufre (S)

El azufre forma parte de los aminoácidos, otras moléculas y una serie de fermentos. Si existe una deficiencia de este elemento en el bosque, éste pierde su capacidad de responder a la fertilización con nitrógeno (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.2.- Calcio (Ca)

Este elemento es un componente de la pared celular (pectinato de calcio), haciéndolo un microelemento necesario en el metabolismo (Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.3.- Magnesio (Mg)

El magnesio es el elemento fundamental de la molécula de clorofila. Además funciona como ión regulador de varios procesos fisiológicos y es ocupado como cofactor de enzimas en los procesos de fosforilación del ADP para formar ATP (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.4.- Hierro (Fe)

El hierro es componente de varios fermentos, además juega un papel bastante importante en el metabolismo fisiológico al tener la propiedad de cambiar de valencia. También se cree que una muy baja concentración o la falta de este elemento puede limitar el crecimiento de la planta (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.5.- Manganeso (Mn)

El manganeso dentro de las plantas, se encuentra en general unido fuertemente entre las proteínas, lo que proporciona un estado de estabilidad estructural a estas moléculas (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.6.- Zinc (Zn)

Este elemento participa en la formación de auxinas y activa los fermentos en las plantas. Las plantas con niveles deficientes de zinc, presentan reacciones fisiológicas reducidas y deformidades en el crecimiento de los ápices (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.7.- Cobre (Cu)

El cobre es un elemento poco móvil dentro de la planta, cuya principal función es llevar a cabo la reducción del oxígeno (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.8.- Boro (B)

Este elemento es ocupado por la planta para la construcción de tejidos meristemáticos y para el desarrollo de flores y frutos. Grandes concentraciones de este elemento pueden producir toxicidad (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.9.- Molibdeno (Mo)

El molibdeno cumple un papel fundamental en la fijación biológica y posterior reducción del nitrógeno del aire, debido a lo cual, es un elemento que se requiere en concentraciones relativamente altas (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.3.2.10.-Cloro (Cl)

El cloro interviene en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis y regula la turgencia de la célula. Hasta la fecha no se conocen deficiencias de cloro, incluso es común encontrar a este elemento en concentraciones hasta 10 veces más altas de lo normal. En grandes concentraciones produce toxicidad o impide el crecimiento de las plantas (Binkley, 1993; Zottl y Tschinkel, 1971).

2.4.- Fertilización

El uso de fertilizantes como práctica común en la agricultura, comenzó en la mayoría de los países desarrollados a fines del siglo XIX, aunque sólo en los decenios posteriores a la segunda guerra mundial, se produce el mayor aumento en su consumo (Ignatieff, 1959; Gros, 1986).

La intensificación de la silvicultura se ve reflejada en la aplicación de fertilizantes para disminuir los problemas de crecimiento por causa de deficiencias nutricionales, técnica que se ha vuelto muy común en la actualidad en gran parte del mundo (Von Mares, 1988). La fertilización tiene como objetivo aportar al suelo los nutrientes requeridos por la planta, en la cantidad, proporción, forma química y en la zona precisa para evitar desequilibrios nutricionales que alteren el metabolismo de ésta, y lograr así, un crecimiento adecuado, ayudando a obtener una mayor productividad del futuro bosque (Toro, 1988).

La fertilización es muy ocupada en plantaciones o bosques artificiales con el fin de incrementar la productividad de los mismos en el menor tiempo posible. A través de esta técnica se puede mejorar la sobrevivencia y aumentar el crecimiento inicial de especies con el fin de disminuir la competencia con malezas o renovales de la vegetación del lugar, además mejora la resistencia de los individuos a la sequía, plagas y enfermedades (Leonard, 1990; F.A.O., 1986).

Es importante destacar que la fertilización es necesaria sólo cuando se presentan suelos pobres o deficitarios de nutrientes debido a que un aporte mineral en las condiciones opuestas puede generar, en forma artificial, un déficit de otros nutrientes, sin olvidar el costo monetario que involucra esta práctica (González, 1993; F.A.O., 1986; Leonard, 1990).

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo general

Identificar las mejores dosis de fertilización para el establecimiento de palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon) en la localidad de Lolol.

3.2.- Objetivos específicos

- Determinar el efecto de los tratamientos aplicados, en cuanto a sobrevivencia de plantas.
- Estimar la diferencia en peso seco por efecto de la fertilización.

4.- MATERIAL Y MÉTODO

4.1.- Material

4.1.1.- Ubicación del ensayo

El predio seleccionado para la plantación fue la Hijueta N°2 del ex Fundo Rucahue, ubicado en el sector Santa Teresa de Quiahue, comuna de Lolol (34°45' S, 71°40' O), VI Región. Sector que se encuentra en la zona climática de tendencia Mediterránea subhúmeda del país.

La propiedad presenta suelos de tipo granítico con buen drenaje y pendientes suaves. La vegetación es del tipo esclerófilo, aunque se encuentra bastante degradada y sólo se observa en quebradas de difícil acceso o en lugares de pendiente fuerte. En general, el predio puede ser clasificado como agrícola-ganadero.

Para este estudio se realizaron dos experimentos en forma paralela (**A** y **B**), de distintos niveles de fertilización. En el primero (**A**) se ocuparon 441 plantas de palma chilena de dos años, separadas en nueve parcelas con tres tratamientos. Para el segundo (**B**) se ocuparon 147 plantas aplicándose siete tratamientos.

4.1.2.- Material vegetal

Para el desarrollo de este estudio se ocuparon 588 plantas de palma chilena de dos años de edad, provenientes del vivero San Ignacio ubicado en la comuna de Isla de Maipo (Región Metropolitana), el vivero estaba en convenio con el proyecto FONDEF N° D97I2031 "Determinación de las áreas prioritarias para el uso de Palma Chilena *Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon, y establecimiento de las bases técnicas para promover su cultivo y su explotación sustentable".

4.1.3.- Preparación del sitio

La preparación de sitio para el experimento **A** fue realizada durante el mes de marzo de 2000 y para ello se ocupó subsolador a una profundidad aproximada de 50 centímetros. De manera posterior, según lo recomendado por Castillo (2000) para condiciones similares de sitio, se utilizó un rotocultivador para la eliminación de terrones y de esta forma evitar bolsones de aire dentro de la línea de subsolado.

Para el experimento **B**, se ocupó el sitio de un experimento anterior, el que había sido subsolado el mes de mayo de 1999. Para este ensayo no se utilizó rotocultivador de forma posterior debido a la no existencia de terrones en la superficie.

Después de las primeras lluvias y antes de la plantación, se realizó control de malezas para ambos experimentos con una mezcla de herbicida sistémico de amplio espectro (Roundap) y pre-emergente (Simazina). Roundap y Simazina fueron aplicados a una concentración de tres litros y un y medio litros por hectárea respectivamente. Ambos productos fueron aplicados en forma conjunta usando motobomba de espalda con un mojamiento de 200 litros por hectárea.

4.1.4.- Fertilizante

Para la fertilización se ocupó la mezcla comercial N° 740 preparada por Soquimich S.A.. Este fertilizante fue elegido ya que contiene gran cantidad de elementos nutritivos (macro y micronutrientes) en dosis y formas de entrega ya estudiadas por la empresa con buenos resultados bajo circunstancias similares a la de esta plantación.

4.1.5.- Sombreaderos

Las palmas del experimento **A** fueron protegidas con sombra de 80 %. Para tal efecto, se ocuparon 441 sombreaderos triangulares de 70 centímetros por lado y 70 centímetros de alto, en la parte superior del mismo se adhirió un trozo de malla cuadrada de setenta por setenta centímetros como tapa. Estos, fueron confeccionados en el vivero en convenio con el proyecto.

Para el experimento **B**, la sombra fue del 65 %, y las medidas de los sombreaderos de 50 por 50 centímetros, con una tapa triangular de 50 centímetros por lado, debido a que era material reutilizado de un ensayo anterior. El número de sombreaderos utilizados fue de 147.

Tabla 1.- Resultados del análisis de suelo NPK realizado en la zona de estudio, por cada calicata realizada y elemento.

Elemento	Profundidad (cm)	Calicata 1	Calicata 2
Nitrógeno (ppm)	0 – 60	2,35	3,79
Fósforo (ppm)	0 – 60	10,5	9,9
Potasio (ppm)	0 – 60	160,5	136,6

De estos resultados se puede concluir que los niveles de nitrógeno en ambas muestras fueron deficientes y se encontraban en niveles “muy bajos” según su comparación con una tabla de índices generales y categorías para interpretación de análisis de suelo (Tabla 2). A su vez, los niveles de fósforo se encontraron en un nivel “regular” y el potasio en niveles “adecuado” y “regular” para las calicatas uno y dos respectivamente.

Tabla 2.- Índices generales y categorías para interpretación de análisis de suelo.

Categorías	Nitrógeno (N) ppm	Fósforo (P) ppm	Potasio (K) ppm
Muy Baja	0 a 10	0 a 4	0 a 50
Bajo	11 a 20	5 a 9	50 a 100
Regular	21 a 40	10 a 15	100 a 150
Adecuado	41 a 80	16 a 56	Mayor a 150
Alto	81 a 120	Mayor a 60	
Excesivo	Mayor a 120		

Fuente: Elaborado por Laboratorio de Suelos, Dep. de Silvicultura, Fac. Cs. Forestales, Universidad de Chile.

Por último, se tomaron muestras de densidad aparente en cinco puntos distribuidos aleatoriamente dentro de la zona de estudio los que dieron una densidad promedio de 1,432 g/cm³ (Tabla 3).

Tabla 3.- Muestra de densidad aparente tomadas de forma aleatoria en la zona de plantación.

Muestra	Densidad (g/cm ³)
1	1,4
2	1,57
3	1,31
4	1,54
5	1,36
Promedio	1,432

4.2.3.- Fertilización

4.2.3.1.- Fertilizante empleado

El fertilizante que se empleó, es la mezcla 740 de Soquimich que contiene macroelementos y microelementos, en las siguientes proporciones:

Nitrógeno 14 % (75 % amoniacal y 25% nítrico).
Fósforo 14 %, de entrega rápida y lenta.
Potasio 9 %, este libre de cloro.
Boro 1,7 %.
Azufre 4 %.
Magnesio 2 %.
Calcio 6 %.
Sodio 3 %
Más elementos en forma de quelatos (MgO + Fe + Mn + Zn + Cu + Mo)

Este fertilizante fue seleccionado debido a que es bastante completo en su composición y aporta una gran gama de nutrientes en concentraciones ya estudiadas, lo que hace más adecuado su uso en suelos pobres y de mala calidad como los presentes en el estudio.

4.2.3.2.- Aplicación del fertilizante

El fertilizante se aplicó en el momento de la plantación por medio de barreno en tres puntos ubicados alrededor de la planta sobre un círculo imaginario de 20 centímetros de radio y 10 centímetros de profundidad. Luego, los orificios fueron cubiertos para evitar la volatilización del producto.

A las parcelas en estudio se les aplicó un riego de cinco litros de agua cada 15 días durante la estación seca (seis meses a partir de octubre) y así, según lo recomendado por Castillo (2001), facilitar su establecimiento, aumentar la acumulación de biomasa aérea y disminuir la mortalidad al final de la temporada. A su vez, este tratamiento permite asegurar la absorción de los nutrientes entregados a través de la fertilización.

4.2.4.- Dosis de fertilización

La determinación de las dosis de fertilizantes para el experimento **A** (dos dosis más un testigo) fue hecho según los resultados entregados por el análisis de suelo y el fertilizante ocupado en el estudio. Para ello se tomó el promedio de los valores de nitrógeno obtenidos del análisis en ppm y se comparó con los niveles regular y adecuado de un índice general para interpretación de análisis de suelo (Tabla 2). Este diferencial se llevó a gramos de fertilizante por planta de la siguiente manera:

- Promedio nitrógeno disponible: 3,07 ppm.
- Diferencia con el nivel Regular de nitrógeno = $30 - 3,07 = 26,93$ ppm
- Diferencia con el nivel Adecuado de nitrógeno = $60 - 3,07 = 56,93$ ppm

La fórmula utilizada para el cálculo de la dosis fue (ver Apéndice II):

$$D = \left(\frac{\text{vol. suelo} [cm^3] * \text{Densidad suelo} [g/cm^3]}{1000} * \frac{\Delta F [mg/kg]}{1000} \right)$$

Donde:

D: dosis a aplicar en gramos.

ΔF : diferencial de nutrientes en ppm.

Por lo tanto para el nivel regular la dosis es:

$$D = 8,3297 \text{ gramos de nitrógeno efectivo por planta.}$$

y para el nivel adecuado la dosis queda:

$$D = 17,6091 \text{ gramos de nitrógeno efectivo por planta.}$$

Tomando en cuenta el aporte de nitrógeno efectivo dado por el fertilizante ocupado en el estudio, las dosis obtenidas fueron:

Dosis 1	60 gramos de fertilizante
Dosis 2	120 gramos de fertilizante

4.2.5.- Mediciones

Las mediciones fueron realizadas cuatro semanas después de la plantación y al finalizar la temporada estival un año después (marzo), abarcando el total de las parcelas del estudio (ambos experimentos). Los datos fueron registrados para su posterior análisis junto con la ubicación espacial de cada planta dentro de la parcela.

Las mediciones tomadas fueron:

Sobrevivencia de las plantas: para esta medición se registraron las plantas muertas según la siguiente definición; una planta estará muerta si presenta pudrición en el cuello, se desprende completamente al ejercer una leve presión o tiene un color café claro en un cien por ciento de la superficie foliar y al tacto no se puede determinar algo de turgencia. Esta medición se efectuó por inspección ocular y de tacto.

Número de hojas: para esta medición se consideraron todas las hojas presentes que fuera visibles a simple vista y que, en caso de estar marchitas, a través del tacto se pudiera considerar aún como vivas.

- Calidad de la planta: ésta se registró a simple vista, según una escala de cero a cuatro, siendo el cero una planta muerta, uno una planta de mala calidad, dos una planta de calidad regular, tres una planta buena y, por último, cuatro una planta de muy buena calidad. Para esta característica se fijó en el color, estado fitosanitario y vigor de la planta bajo análisis.

- Diámetro a la altura del cuello (DAC): esta medición se efectuó con un pie de metro en la base de la planta, justo a ras de suelo, y fueron registradas en milímetros.

4.2.6.- Análisis de biomasa

Para el análisis de biomasa se tomó el peso seco como variable de interés. Para ello se seleccionaron tres muestras por parcela, es decir, un total de nueve muestras por tratamiento (para ambos experimentos). Éstas fueron elegidas de forma completamente al azar sorteando la fila y la columna en que se encontraban a través de números aleatorios entre uno y siete.

Una vez obtenida la posición de las plantas que deberían ser extraídas, se procedió a desenterrarlas con extremo cuidado para no perder parte de la raíz. Al momento de ser extraída la muestra, ésta fue tabulada con el número de experimento y su localización dentro de la parcela.

Todas las muestras fueron extraídas a mediados del mes de marzo y llevadas inmediatamente al laboratorio del Departamento de Silvicultura de la Facultad de Ciencias Forestales para ser secadas. El proceso de secado tuvo una duración de 120 horas a 70° C, período en el cual se eliminó la totalidad de agua de las muestras. Luego se estabilizó la humedad dejándolas enfriar durante cinco horas. Una vez terminado el proceso de secado, las muestras fueron pesadas en una balanza electrónica con precisión de dos dígitos bajo el gramo. Primero, se pesó la totalidad de la planta; luego la parte aérea y por último las raíces.

4.2.7.- Diseño estadístico

El experimento correspondió a análisis unifactorial en un diseño completamente aleatorizado, para un modelo de efectos fijos, con tres tratamientos y tres repeticiones con la siguiente hipótesis de interés:

$$H_0: \tau_j = 0 \quad \text{V/S} \quad H_1: \exists \tau_j \neq 0 \quad , j = 1, 2, \dots, k$$

El modelo de efectos fijos para un experimento unifactorial completamente aleatorio es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}, \quad \begin{array}{l} i = 1, \dots, n_j, \\ j = 1, \dots, k \end{array}$$

Donde Y_{ij} es la i -ésima observación de j -ésimo tratamiento, μ es la media sobre todas las k poblaciones, τ_j es el efecto sobre la respuesta debido al j -ésimo tratamiento como la desviación de la j -ésima población media μ_j respecto a la media global μ , y ε_{ij} es el error experimental para la i -ésima observación bajo el j -ésimo tratamiento (Y_{ij}), con respecto a la j -ésima población media μ_j . Se supone que los errores son independientes y que se encuentran normalmente distribuidos con medias cero y varianzas iguales, es decir $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$.

De esta forma,

$$\begin{aligned}\tau_j &= \mu_j - \mu, & j &= 1, 2, \dots, k. \\ \varepsilon_{ij} &= Y_{ij} - \mu_j & j &= 1, 2, \dots, k, i = 1, \dots, n_j\end{aligned}$$

Los tratamientos aplicados en el primer experimento (**A**), son los siguientes:

- T_0 : Sin fertilización
- T_1 : 60 gramos de fertilizante
- T_2 : 120 gramos de fertilizante

Y para el experimento **B**, los tratamientos son:

- T_0 : Sin fertilización
- T_1 : 60 gramos de fertilizante
- T_2 : 120 gramos de fertilizante
- T_3 : 180 gramos de fertilizante
- T_4 : 240 gramos de fertilizante
- T_5 : 300 gramos de fertilizante
- T_6 : 360 gramos de fertilizante

De ellos se puede calcular la suma total de los cuadrados (STC) que es igual a la suma de los cuadrados de los tratamientos (SCTR), que mide la extensión de la variación en las observaciones debido a las diferencias entre los tratamientos más la suma de los cuadrados de los errores (SCE) que mide la cantidad de variación en las observaciones debida a un error aleatorio (Apéndice III).

Ambas sumas son estadísticas del tipo chi-cuadrado, hecho que permite derivar una estadística de prueba para H_0 . En consecuencia el cociente de las medias cuadráticas tiene una distribución $F_{1-\alpha, (k-1), (N-k)}$ y es la estadística de prueba para H_0 .

Para el análisis de varianza factorial (Apéndice III) se ocuparon los valores obtenidos del análisis de biomasa (peso seco) con un nivel de confianza del 95 %.

4.2.7.1.- Comparación de medias

Si la prueba de F rechaza la hipótesis H_0 , la conclusión alternativa es que no todos los tratamientos entregan el mismo resultado, para lo que se ocupó el método de Scheffé para un resultado más significativo, debido a que este es un método más general en su aplicación y permite probar la significancia de cualquier contraste. De esta forma se determina qué contrastes son realmente significativos.

Para ello, es necesario efectuar comparaciones entre diversas combinaciones de los tratamientos que sean razonables. Para este caso se generaron las siguientes relaciones (Lx):

$$\begin{aligned}L_1: & \mu_0 - \mu_1 \\ L_2: & \mu_0 - \mu_2 \\ L_3: & \mu_1 - \mu_2\end{aligned}$$

Si para algún contraste L se obtiene un intervalo que no incluya al cero. Entonces el contraste es estadísticamente discernible (Apéndice III).

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- Resultados

5.1.1.- Mediciones

A continuación se presentan los resultados obtenidos para las observaciones visuales tomadas en el estudio separadas por cada uno de los experimentos.

5.1.1.1.- Experimento A

De la primera medición (Tabla 4) se pudo observar que el prendimiento para este experimento fue de 99,31 % para T₀ y de 100 % para los tratamientos T₁ y T₂. A su vez el promedio de número de hojas por planta en la primera medición fue de tres hojas para todos los tratamientos (Tabla 5).

Tabla 4.- Mediciones de prendimiento y sobrevivencia por tratamiento para el experimento A en los años 2000 y 2001.

Tratamiento	Primera Medición (Septiembre de 2000)		Segunda Medición (Marzo de 2001)		Diferencia
	Plantas Muertas (Nº)	Sobrevivencia (%)	Plantas Muertas (Nº)	Sobrevivencia (%)	
T ₀ (testigo)	1	99,31	3	97,95	2
T ₁ (60 g)	0	100	2	98,63	2
T ₂ (120 g)	0	100	7	95,23	7
Promedio	0,3	99,77	4	97,27	3,6

En cuanto a la calidad de la planta (Tabla 6), ésta se situó en promedio para los tres tratamientos, en el valor tres lo que implica una calidad "Buena", a su vez el diámetro a la altura del cuello (DAC) promedio fue de 8,18; 8,47 y 7,47 centímetros para los tratamientos T₀, T₁ y T₂ respectivamente (Tabla 7).

Tabla 5.- Número medio de hojas para el experimento A por tratamiento, en los períodos de septiembre de 2000 y marzo de 2001.

Tratamiento	Primera Medición (Septiembre de 2000)	Segunda Medición (Marzo de 2001)	Diferencia
	Número de Hojas (Media)	Número de Hojas (Media)	
T ₀ (testigo)	3	4	1
T ₁ (60 g)	3	5	2
T ₂ (120 g)	3	4	1
Promedio	3	4,3	1,3

Para la segunda medición, realizada seis meses después, la sobrevivencia de plantas bajó a 97,95 %, 98,63% y 95,23% para T₀, T₁ y T₂ respectivamente. En cuanto al

número de hojas, éste se vio incrementado en dos unidades para los tratamientos T_0 y T_1 , y en una unidad para T_2 . La calidad de la planta mantuvo su nivel de “Bueno” (valor 3) para todos los tratamientos y el DAC promedio disminuyó en aproximadamente un milímetro.

Tabla 6.- Valores medios por tratamiento para la calidad de la planta en el experimento A.

Tratamiento	Primera Medición (Septiembre de 2000)	Segunda Medición (Marzo de 2001)	Diferencia
	Calidad de Planta (Media)	Calidad de Planta (Media)	
T_0 (testigo)	3	3	0
T_1 (60 g)	3	3	0
T_2 (120 g)	3	3	0
Promedio	3	3	0

La disminución del diámetro a la altura del cuello (DAC) pudo deberse a que por efectos del riego y a la remoción de suelo que éste produjo al interior de la tasa, “enterró” más la planta y por ende la medida tomada en la segunda oportunidad no fue realizada a la misma altura que la primera. Debido a lo anterior es que el diámetro a la altura del cuello no fue tomado como una medición válida y por ende como elemento de análisis dentro del estudio.

Tabla 7.- Mediciones promedio por tratamiento para el diámetro a la altura del cuello (DAC), para el experimento A en ambos períodos de medición.

Tratamiento	Primera Medición (Septiembre de 2000)	Segunda Medición (Marzo de 2001)	Diferencia
	DAC (Media en mm)	DAC (Media en mm)	
T_0 (testigo)	8,24	7,14	-1,10
T_1 (60 g)	8,47	7,35	-1,12
T_2 (120 g)	7,47	6,72	-0,75
Promedio	8,06	7,07	-0,99

En este ensayo, se realizó una medición adicional que afectó a todas las plantas extraídas para el análisis de biomasa. Para cada una de las muestras antes de ser secadas, se registró el número de hojas, de raíces y sus respectivos largos.

Los resultados obtenidos para esta medición muestran que el 100 % de las plantas analizadas tienen a lo menos tres hojas, el 96,3 % cuatro hojas, el 74,1 % cinco hojas y el 14,8 % seis hojas. Los largos de hoja fluctuaron entre 10 y 41 centímetros encontrándose los valores mínimos en el tratamiento T_2 y los valores máximos en T_3 . El promedio de largo de hojas, para todas las muestras fue de 26 centímetros, a su vez los promedios por tratamiento para T_0 y T_2 estuvieron 0,52 y 0,72 centímetros sobre la media, para T_1 en cambio fue de 1,33 centímetros bajo ésta (Tabla 8).

Tabla 8.- Número y largo promedio de hojas de las muestras extraídas para análisis de biomasa para el experimento A, por tratamiento y repetición.

Tratamiento	Repetición	Nº Hojas	Largo promedio (cm)
T₀ (testigo)	1	4	26,1
		5	29,9
		5	31,4
	2	6	30,4
		3	25,8
		5	23,6
	3	4	26,8
		4	26,5
		5	17,1
Promedio		4,6	26,52
T₁ (60 g)	1	5	27,1
		4	25,0
		5	25,3
	2	5	22,1
		4	26,3
		5	22,8
	3	5	27,8
		5	23,4
		5	22,7
Promedio		4,8	24,67
T₂ (120 g)	1	5	31,7
		6	23,8
		5	25,6
	2	5	25,1
		6	25,0
		4	31,3
	3	5	28,5
		5	26,1
		6	25,8
Promedio		5,2	26,76

Por otra parte el 100 % de las plantas presentó a lo menos cuatro raíces cuyos largos fluctuaron alrededor de los 31 centímetros de promedio. A su vez el 89,9 % de las muestras tenían cinco raíces, el 40,7 % seis raíces, 11,1 % siete raíces y 3,7 % ocho raíces. La raíz más larga se encontró en el tratamiento T₁ alcanzando los 93 centímetros y la más pequeña en el tratamiento T₀, que a su vez fue el único tratamiento que presentó una muestra con ocho raíces, con un largo de 2,5 centímetros (Tabla 9).

El promedio general para el largo de raíces es de 26,5 centímetros. Los promedios para los tratamientos T₀ y T₂ fueron inferiores a este promedio en 2,13 y 2,94 centímetros

respectivamente. El promedio del tratamiento T_1 superó la media de los tratamientos en 4,94 centímetros.

Tabla 9.- Número y largo promedio de raíces de plantas extraídas para análisis de biomasa para el experimento A, por tratamiento y repetición.

Tratamiento	Repetición	Nº de raíces	Largo promedio (cm)
T_0 (testigo)	1	4	19,4
		5	26,5
		6	31,5
	2	8	20,5
		5	31,7
		5	16,9
	3	5	23,5
		5	28,8
		4	19,4
	Promedio		5,2
T_1 (60 g)	1	6	36,3
		5	28,4
		6	29,8
	2	6	38,2
		6	29,8
		5	26,4
	3	6	24,6
		5	34,0
		5	35,2
	Promedio		5,5
T_2 (120 g)	1	7	30,0
		7	23,0
		5	34,8
	2	5	19,3
		7	20,5
		4	15,5
	3	5	23,2
		5	27,5
		6	17,9
	Promedio		5,6

5.1.1.2.- Experimento B

Para el segundo experimento, el porcentaje de prendimiento (Tabla 10) fue de un 100% para todos los tratamientos (de T_0 a T_6). El número de hojas promedio, al igual que en el experimento A fue de tres, para todos los tratamientos, de la misma forma la calidad

de la planta para los tratamientos T₁, T₃ y T₄ que mantuvieron su nivel de “bueno” (equivalente al valor tres); en cambio, para T₀, T₂, T₅ y T₆ la calidad fue inferior, es decir, quedó en la categoría de regular (dos puntos).

Tabla 10.- Mediciones de prendimiento y sobrevivencia por tratamiento para el experimento B en los años 2000 y 2001.

Tratamientos	Primera Medición (Septiembre de 2000)		Segunda Medición (Marzo de 2001)		Diferencia
	Plantas Muertas (Nº)	Sobrevivencia (%)	Plantas Muertas (Nº)	Sobrevivencia (%)	
T ₀ (testigo)	0	100	1	95,24	1
T ₁ (60 g)	0	100	4	80,95	4
T ₂ (120 g)	0	100	5	76,19	5
T ₃ (180 g)	0	100	3	85,71	3
T ₄ (240 g)	0	100	2	90,48	2
T ₅ (300 g)	0	100	6	71,43	6
T ₆ (360 g)	0	100	7	66,67	7
Promedio	0	100	4	80,95	4

Por su parte, los DAC promedio para todos los tratamientos fueron cercanos a los 6,5 milímetros, a excepción del tratamiento T₁ que sobrepasó los siete milímetros (Tablas 11, 12 y 13).

Tabla 11.- Número medio de hojas para el experimento B por tratamiento, en los períodos de septiembre de 2000 y marzo de 2001.

Tratamientos	Primera Medición (Septiembre de 2000)	Segunda Medición (Marzo de 2001)	Diferencia
	Número de Hojas (Media)	Número de Hojas (Media)	
T ₀ (testigo)	3	5	2
T ₁ (60 g)	3	5	2
T ₂ (120 g)	3	5	2
T ₃ (180 g)	3	5	2
T ₄ (240 g)	3	4	1
T ₅ (300 g)	3	4	1
T ₆ (360 g)	3	5	2
Promedio	3	4,7	1,7

En la segunda medición realizada en el mes de marzo de 2001, la sobrevivencia bajó drásticamente encontrándose valores de 66,67 %, 71,43 % y 76,19 para los tratamientos T₆, T₇ y T₂ respectivamente (siete, seis y cinco plantas muertas). El tratamiento que tuvo menos mortalidad fue T₀ con un 95,24 % de sobrevivencia, para los restantes (T₁, T₂, T₃ y T₄) se mantuvo en un rango aceptable (entre 80 y 90 %).

Tabla 12.- Valores medios por tratamiento para la calidad de la planta en el experimento B.

Tratamientos	Primera Medición (Septiembre de 2000)	Segunda Medición (Marzo de 2001)	Diferencia
	Calidad de Planta (Media)	Calidad de Planta (Media)	
T ₀ (testigo)	2	3	1
T ₁ (60 g)	3	2	-1
T ₂ (120 g)	2	2	0
T ₃ (180 g)	3	3	0
T ₄ (240 g)	3	2	-1
T ₅ (300 g)	2	2	0
T ₆ (360 g)	2	2	0
Promedio	2,4	2,2	0,4

El número de hojas a su vez, se incrementó en dos unidades para los tratamientos T₀, T₁, T₂, T₃ y T₆ y en una unidad para el resto de los tratamientos. A su vez la calidad de la planta se incrementó en un punto para el tratamiento T₀; se mantuvo constante para los tratamientos T₂, T₃, T₅ y T₆; y los tratamientos T₁, y T₄ disminuyeron una unidad, es decir, pasaron de la categoría “buena” a “regular”.

Tabla 13.- Mediciones promedio por tratamiento para el diámetro a la altura del cuello (DAC), para el experimento B en ambos períodos de medición.

Tratamientos	Primera Medición (Septiembre de 2000)	Segunda Medición (Marzo de 2001)	Diferencia
	DAC (Media en mm)	DAC (Media en mm)	
T ₀ (testigo)	7,48	6,70	-0,78
T ₁ (60 g)	6,57	7,41	0,84
T ₂ (120 g)	6,29	7,88	1,59
T ₃ (180 g)	6,05	6,88	0,83
T ₄ (240 g)	6,76	7,32	0,55
T ₅ (300 g)	6,81	6,36	-0,45
T ₆ (360 g)	6,76	6,64	-0,12
Promedio	6,67	7,02	0,35

En cuanto al DAC, éste sufrió un incremento cercano a un milímetro para los tratamientos T₀, T₁ y T₃, se mantuvo constante en T₅ y disminuyó en los tratamientos T₂, T₃ y T₄.

5.1.2.- Análisis de sobrevivencia

Para el análisis de sobrevivencia, se usó como variable de interés el número de plantas muertas por tratamiento al final de la temporada, sin incluir las plantas muertas correspondientes al período de establecimiento. De esta forma, se generó para el experimento **A** y **B** los análisis de varianza factorial, Tablas 14 y 15 respectivamente.

Tabla 14.- Análisis de varianza factorial para la sobrevivencia del experimento A.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	2	5,56	2,777777778	3,24074074	4,74
Error	7	6,00	0,857142857		
Total	8	11,555556			

El resultado de ambos análisis demostró que no existen diferencias significativas que permitan asegurar, para un nivel de confianza del 95 %, que la fertilización tiene algún efecto en la sobrevivencia de palma chilena, dentro de su primera etapa de desarrollo.

Tabla 15.- Análisis de varianza factorial para la Sobrevivencia del experimento B.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	6	10,29	1,7142857	1,63636363	2,86
Error	14	14,67	1,0476190		
Total	20	24,952381			

5.1.3.- Análisis de biomasa

En ambos ensayos, con el propósito de poder diferenciar el origen de los incrementos, en caso de que éstos existan, el análisis de biomasa se realizó tanto para la planta completa como para la parte aérea y subterránea de forma independiente.

5.1.3.1.- Experimento A

En los valores parciales obtenidos para el peso seco no fue posible observar diferencias en los incrementos de biomasa promedio por tratamiento, encontrándose el mayor de ellos en el tratamiento T₁ con una diferencia 1,53 gramos por sobre el testigo. En el caso del tratamiento T₂ este incremento fue de un gramo. Estos valores demuestran una diferencia entre los tratamientos, la que no necesariamente puede ser estadísticamente válida.

Del análisis realizado para toda la planta, no se desprendió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias como para rechazar la hipótesis nula, no existe diferencia entre las medias de los tratamientos para los incrementos en peso seco, debido a que el valor de F tabulado superó al F calculado para un nivel de confianza del 95 % (Tabla 16).

Tabla 16.- Análisis de varianza factorial para la planta completa (parte aérea más subterránea).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	2	10,93	5,46251481	1,12002403	3,40
Error	24	117,05	4,87714074		
Total	26	127,976407			

En el análisis estadístico para la parte aérea de la planta, tampoco se reflejaron diferencias estadísticamente significativas entre las medias obtenidas de los tratamientos, que permitan rechazar la hipótesis nula, obteniendo como resultado un F calculado de 0,587909 y un F tabulado de 3,40; con un nivel de confiabilidad del 95 % (Tabla 17).

Tabla 17.- Análisis de varianza factorial para la parte aérea de planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	2	3,15	1,57467778	0,587909	3,40
Error	24	64,28	2,67843796		
Total	26	67,4318667			

Por último, en lo referente a la parte subterránea de la planta, los resultados obtenidos del análisis estadístico mostraron una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, es decir se rechazó la hipótesis nula H_0 . En este caso, los valores de F calculado y F tabulado fueron 6,11363935 y 3,40 respectivamente para un nivel de confianza del 95 % (Tabla 18).

Tabla 18.- Análisis de varianza factorial para la parte subterránea de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	2	5,95	2,97317037	6,11363935	3,40
Error	24	11,67	0,48631759		
Total	26	17,617963			

Para este caso se aplicó el método de comparación de medias de Scheffé para saber cuál(es) tratamiento(s) tiene(n) una diferencia estadística, a través de las siguientes comparaciones:

$$L_1 = \mu_0 - \mu_1$$

$$L_2 = \mu_0 - \mu_2$$

$$L_3 = \mu_1 - \mu_2$$

Los resultados obtenidos para las tres relaciones (Apéndice IV) fueron los siguientes:

$$L_1: [-1,924 ; -0,209]$$

$$L_2: [-1,019 ; 0,695]$$

$$L_3: [0,047 ; 1,762]$$

De los tres contrastes planteados, L_1 y L_3 no incluyen el valor cero dentro del intervalo, lo que los hace estadísticamente discernibles. Estos dos contrastes tienen un tratamiento en común, y por el hecho de que L_2 (que toma los tratamientos T_0 y T_2) no sea estadísticamente apreciable, implicó que la única diferencia estadística en el análisis de la parte subterránea de la planta fue dada por el tratamiento T_1 , correspondiente a 60 gramos de fertilizante.

Por lo tanto, se puede asegurar con un 95 % de confianza que el tratamiento T_1 , equivalente a 60 gramos de fertilizante, generó un mayor incremento en la biomasa de palma chilena.

5.1.3.2.- Experimento B

En este ensayo se observó un incremento en el peso total de la planta con respecto al testigo para T_1 , T_2 y T_3 de alrededor de un gramo. Para los tratamientos T_4 y T_5 se vió un descenso bastante significativo con respecto al testigo encontrándose más de dos gramos bajo el mismo. El tratamiento T_6 a su vez, no mostró gran diferencia con respecto a T_0 . Pese a que estos valores muestran una diferencia entre los tratamientos, ésta no necesariamente fue estadísticamente significativa.

En la Tabla 19 se entrega el resultado del análisis de varianza el cual, para un 95 % de confiabilidad, no dio resultados estadísticamente suficientes que permitan rechazar la hipótesis nula $H_0 : \tau_j = 0$. Para este caso el F calculado (1,7937) fue menor a la F tabulada (2,266).

Tabla 19.- Análisis de varianza factorial para la planta completa (parte aérea más subterránea).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	6	139,8470	23,3078402	1,79370563	2,266
Error	56	727,6774	12,9942393		
Total	62	867,5244			

Para el análisis de la parte aérea de la planta, tampoco fue posible encontrar diferencias estadísticamente significativas de las medias de peso seco de los tratamientos, para un nivel de confianza del 95 %. Para este caso, como se observa en la Tabla 20, el F calculado sigue siendo menor que la F tabulada.

Tabla 20.- Análisis de varianza factorial para la parte aérea de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	6	80,0576	13,3429291	1,78673137	2,266
Error	56	418,1961	7,4677869		
Total	62	498,2536			

Por último, los datos usados para el análisis de la parte subterránea de la planta, tampoco son una estadística discernible para rechazar la hipótesis nula. Para este caso los valores de F calculado y F tabulada fueron respectivamente 1,4664 y 2,266, para un nivel de confianza del 95 % (Tabla 21).

Tabla 21.- Análisis de varianza factorial para la parte subterránea de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada (1- α =0,95)
Tratamientos	6	10,3424	1,72374074	1,46649287	2,266
Error	56	65,8234	1,17541706		
Total	62	76,1658			

Como resultado del análisis estadístico para el experimento **B**, no se encontraron diferencias estadísticas que muestren un contraste entre los distintos tratamiento aplicados; es decir, ninguno de los niveles de fertilizante aplicado influyó en el incremento de biomasa dentro del período analizado.

5.1.4.- Análisis foliar

Para todas las muestras extraídas del experimento **B**, se realizó un análisis foliar para determinar la cantidad de macronutrientes y micronutrientes presentes en la planta. Cabe hacer notar que los resultados obtenidos para este análisis fueron meramente referenciales debido a que no existen parámetros conocidos para los niveles de macro y micronutrientes de la especie en estudio (Tabla 22).

Sin embargo, un estudio realizado por Vega (2001), presentó algunos valores presentes durante el primer año de vida de la planta de palma chilena germinada en vivero. Tomando esos datos se generó un valor de referencia, ya que éstos fueron obtenidos bajo condiciones ideales de desarrollo para plantas de un año de edad.

Tabla 22.- Resultado del análisis foliar realizado a las plantas extraídas del experimento B en comparación a los datos obtenidos por Vega (2001).

Nutriente	REF.	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Nitrógeno (%)	1,73	1,30	1,45	1,35	1,34	1,40	1,48	1,24
Fósforo (%)	0,16	0,13	0,15	0,12	0,10	0,13	0,12	0,10
Potasio (%)	0,75	1,59	1,92	1,75	1,62	1,55	1,56	1,59
Calcio (%)	0,66	0,27	0,34	0,26	0,32	0,38	0,43	0,41
Magnesio (%)	0,22	0,13	0,14	0,15	0,14	0,17	0,18	0,18
Cobre (ppm)	0,2	2,00	3,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00
Manganeso (ppm)	1,67	129	146	167	199	160	180	159
Zinc (ppm)	17,7	7,00	9,00	11,00	6,00	9,00	7,00	7,00

5.2.- Discusión

Como respuesta al primer objetivo específico planteado para este estudio “Determinar el efecto de los tratamientos aplicados, en cuanto a sobrevivencia de plantas”, no se puede dar una afirmación certera de cuál es el mejor tratamiento para efectos de sobrevivencia de palma chilena, ya que no existieron diferencias estadísticas significativas que así lo demuestren.

Para el segundo objetivo específico “Estimar la diferencia en peso seco por efecto de la fertilización” es conveniente generar un análisis por separado de cada experimento debido a que, aunque existen diferencias importantes en los incrementos en biomasa, éstas no necesariamente son una estadística suficiente que permita decidir acerca de cuál es el tratamiento que entrega los mejores resultados.

5.2.1.- Experimento A

Los valores obtenidos a partir de las muestras extraídas para este experimento, para el total de la planta (parte aérea más raíces), son expuestos en el Figura 1, por tratamiento y repetición. Cabe recordar que los valores por parcela representan la acumulación de biomasa total promedio por planta.

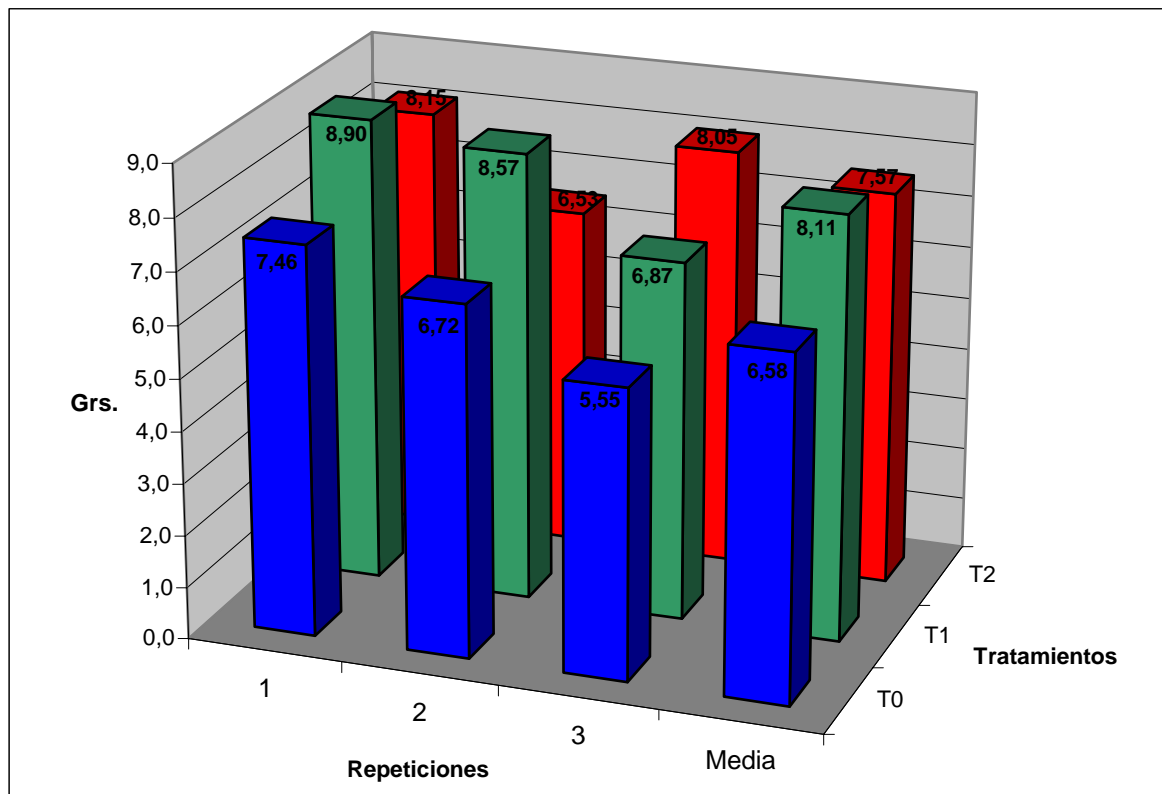


Figura 1.- Acumulación de biomasa promedio para el total de la planta por tratamiento y repetición. Experimento A.

El análisis de varianza correspondiente a la acumulación de biomasa total, con un nivel de significación de un 95 %, permite constatar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los niveles presentados por los tratamientos testigo, 60 gramos de fertilizante y 120 gramos de fertilizante.

No obstante lo anterior, se puede apreciar que el tratamiento T_1 , en promedio, generó los mejores resultados con una biomasa total de 8,11 gramos, acumulando 1,54 gramos más que el testigo y 0,54 gramos más que el tratamiento T_2 .

Por su parte, al desagregar el incremento en biomasa en su componente aéreo y subterráneo (raíces) y generando análisis estadísticos para cada uno de ellos por separado, los resultados cambiaron en forma significativa.

Para la componente aérea y subterránea, los valores obtenidos a partir de las muestras se exponen en los figuras 2 y 3 respectivamente, por tratamiento y repetición.

Para el caso de la parte aérea, tampoco existen diferencias significativas que permita definir o recomendar alguno de los tratamientos aplicados.

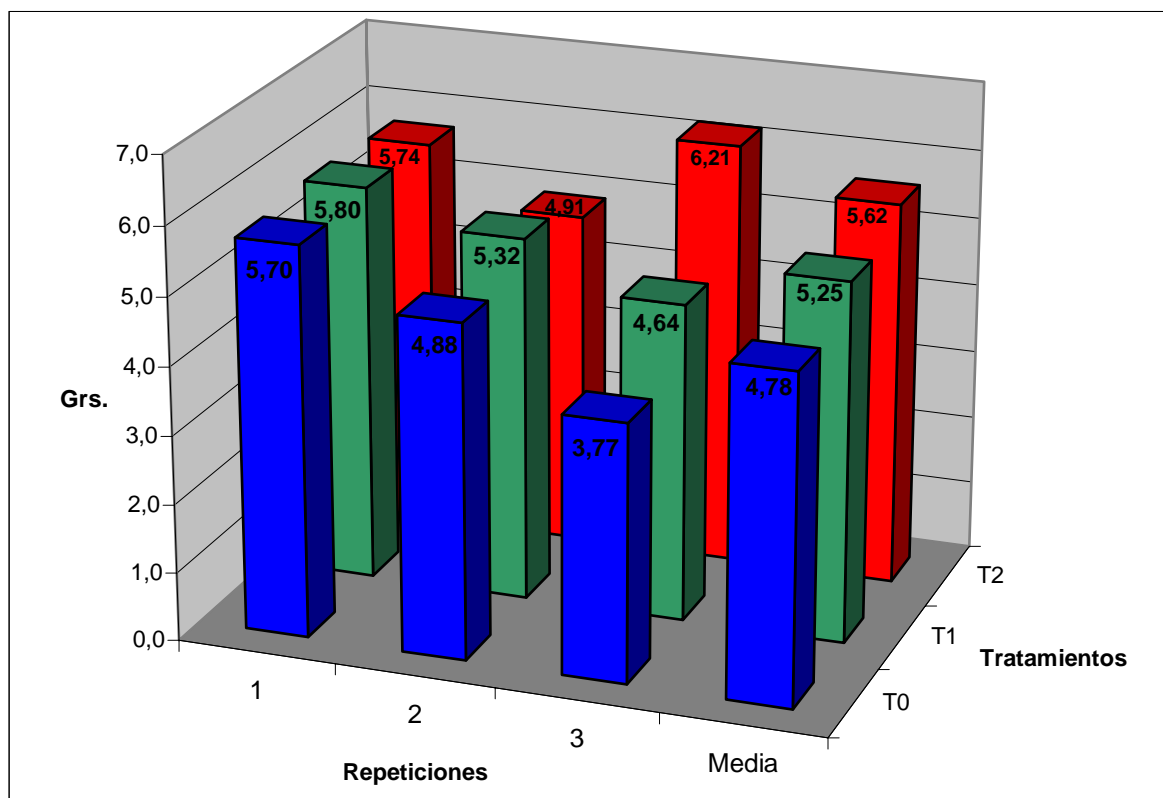


Figura 2.- Acumulación de biomasa promedio para la parte aérea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento A.

Si siguiendo el caso anterior y tomando el tratamiento que obtuvo el más alto incremento al hacer el análisis con toda la planta (T_1), se puede apreciar que éste ya no es el sobresaliente al descomponer los incrementos, dando un promedio de 5,25 gramos

de materia seca, que aunque se encuentra 0,47 gramos más alto que el promedio para el testigo, también está 0,37 gramos por debajo del promedio del tratamiento T₂.

Para el tercer caso en discusión, es decir la parte subterránea conformada solamente por las raíces, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos testigo, 60 gramos y 120 gramos de fertilizante lo que permite, luego de ejecutar la prueba de comparación de medias de Scheffé, distinguir uno de los tratamientos como sobresaliente. Para este caso la aplicación de 60 gramos de fertilizante fue estadísticamente significativa en comparación al resto de las aplicaciones obteniendo un promedio para las tres repeticiones de biomasa subterránea de 2,86 gramos, superando a los promedios para el tratamiento testigo y el tratamiento T₂ en 1,07 y 0,90 unidades respectivamente.

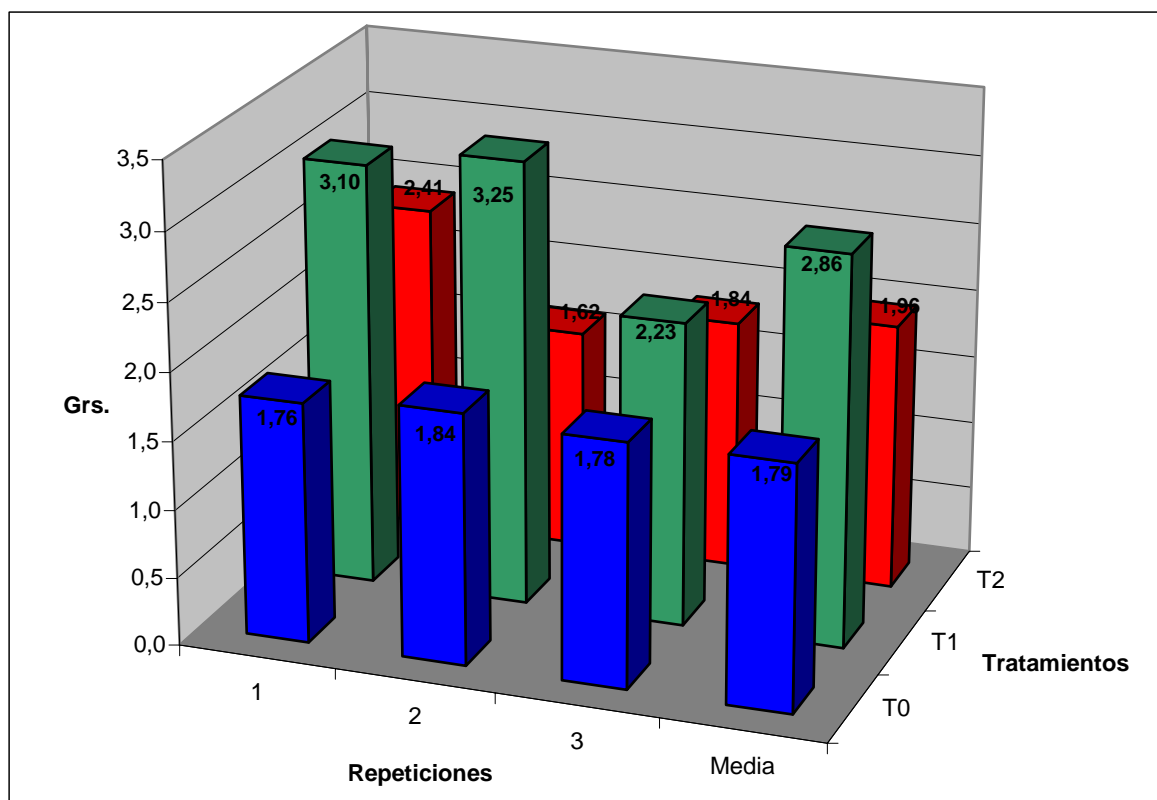


Figura 3.- Acumulación de biomasa promedio para la parte subterránea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento A.

Por lo tanto, de los resultados obtenidos para el análisis de peso seco para la parte subterránea de la planta, se puede concluir que sería recomendable la aplicación de 60 gramos de fertilizante al momento de la plantación, ya que permitiría asegurar un mejor desarrollo radical (en términos de acumulación de biomasa total) y por ende un mejor desarrollo futuro de la plantación bajo las condiciones edafoclimáticas expuestas en el estudio.

Por otra parte, al momento de extraer las muestras de terreno, se realizó un análisis para cada una de las plantas, agrupadas por tratamiento, en las que se registró el número de hojas y raíces con sus respectivos largos (Tablas 8 y 9).

De estos datos (figura 4, 5 y 7) se desprende que todos los tratamientos tuvieron en promedio cinco hojas, con largos que variaron de 14 a 41 centímetros, encontrándose la media en los 26 centímetros. Para el caso particular del tratamiento T_1 no existieron grandes diferencias de los valores promedios para el largo de las hojas, siendo éstas incluso inferiores en 1,33 centímetros de la media global y 1,85 y dos centímetros de los tratamientos T_0 y T_2 respectivamente.

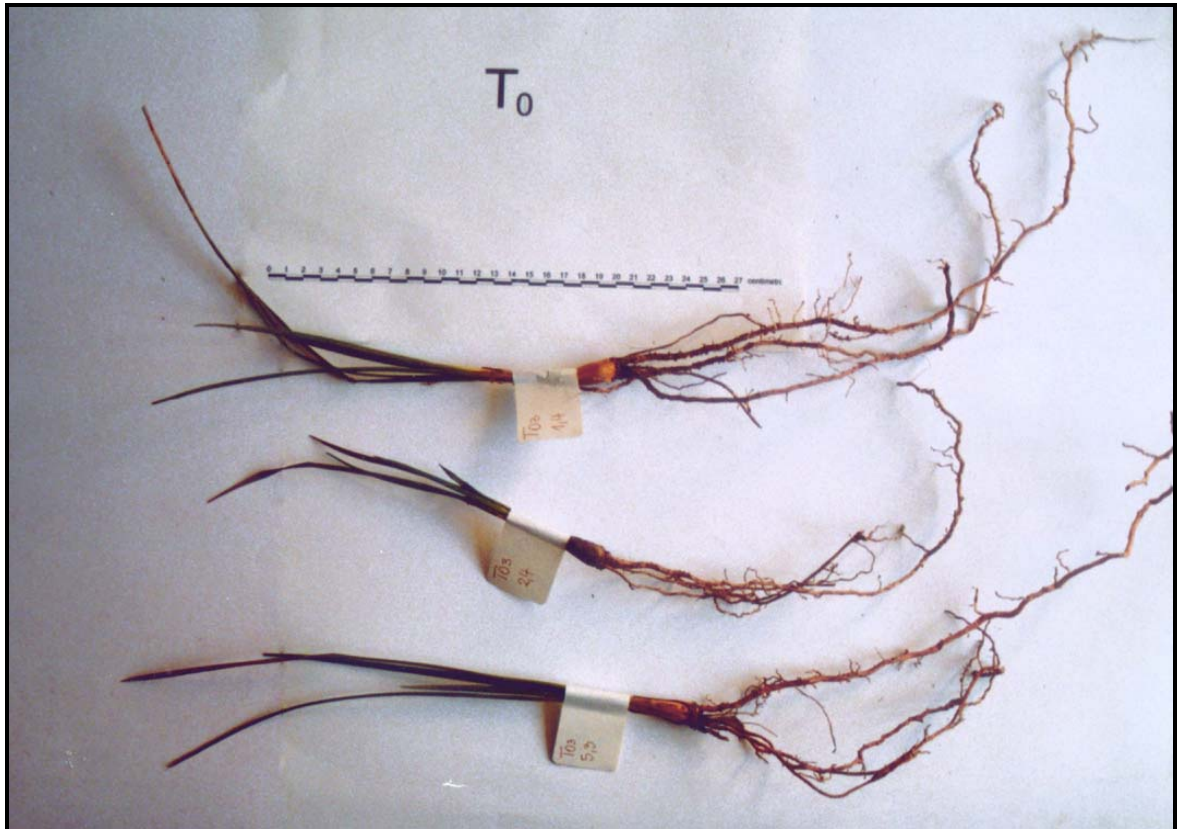


Figura 4.- Muestra de plantas del tratamiento Testigo (T_0), experimento A.

Para el caso particular de las raíces, las plantas tuvieron en promedio seis raíces con largos que variaron de dos a 93 centímetros con una media de 26,5 centímetros para todos los tratamientos. En este caso el tratamiento T_1 fue superior no en número sino en largo de raíces, teniendo raíces 4,9 centímetros más largas que la media global, siete centímetros mayores que el tratamiento T_0 y 7,8 centímetros más que T_2 . Además la calidad de éstas fue notoriamente superior, no siendo solamente raíces más largas sino que con mayor cantidad de ramificaciones y pelos radicales (figura 6), lo que implica que al cubrir una mayor superficie de suelo le da a la planta la posibilidad de absorber mayor cantidad de nutrientes y tener un mejor desarrollo en el corto plazo, aumentando a su vez, las posibilidades de sobrevivencia debido a que es capaz de absorber agua a una mayor profundidad.

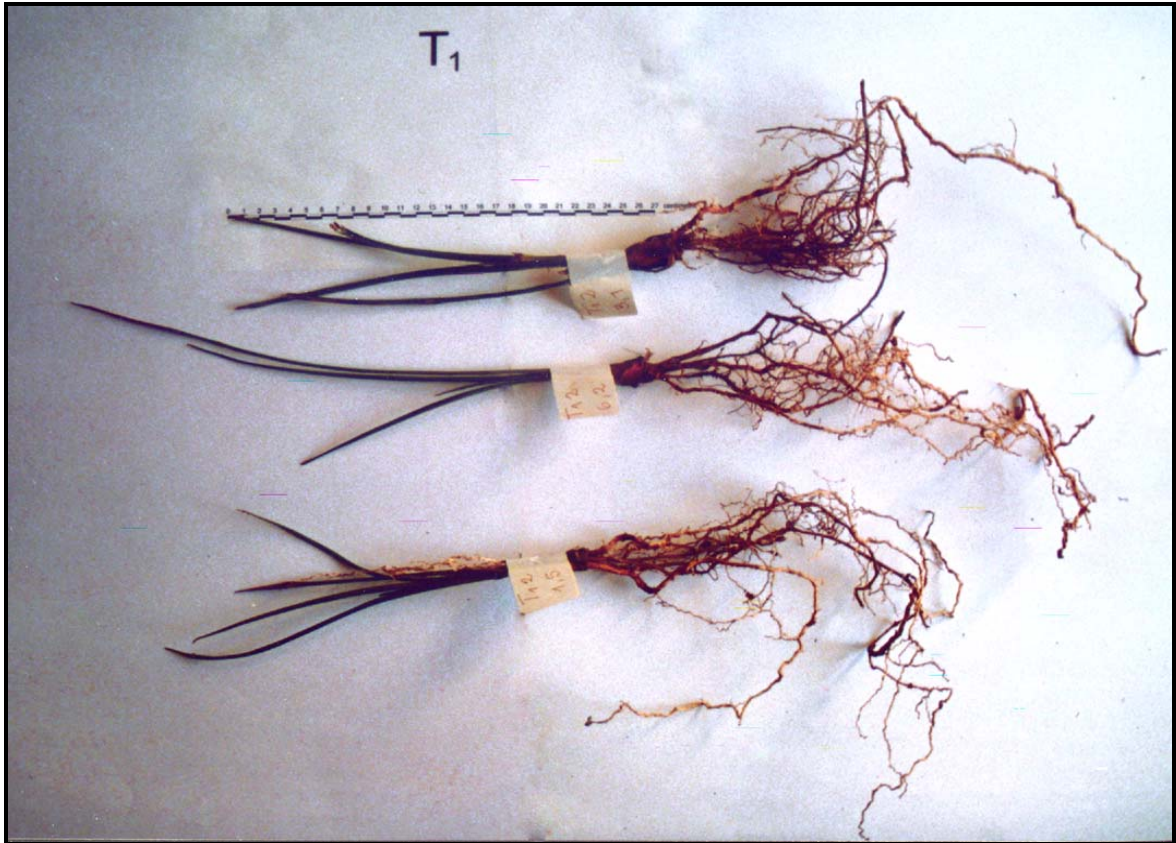


Figura 5.- Muestra de plantas del experimento A con 60 gramos de fertilizante, tratamiento T₁.

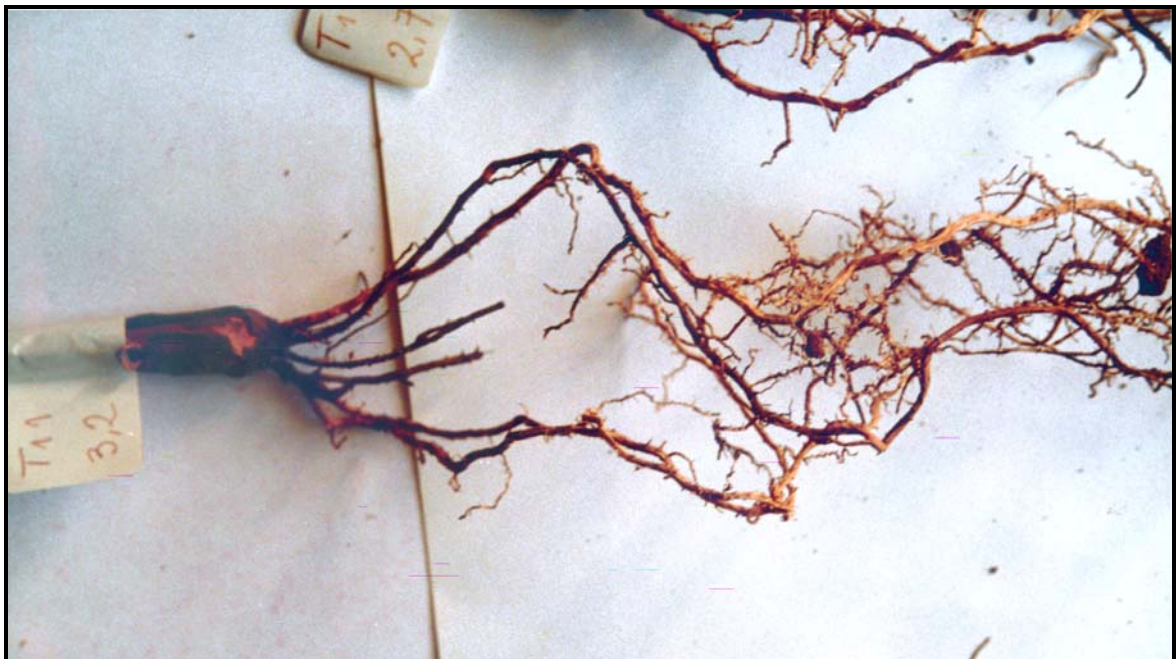


Figura 6.- Acercamiento a las raíces de una planta del experimento A fertilizada con 60 gramos de fertilizante, tratamiento T₁.

Por lo tanto, debido a estas mediciones y con el apoyo de los resultados obtenidos a través del análisis estadístico de incremento en biomasa (peso seco) para la parte subterránea de la planta, se puede recomendar la dosis de 60 gramos de fertilizante ocupada en T_1 , para futuras plantaciones de palma chilena teniendo en cuenta que, aunque en el primer año esta dosis no muestra grandes diferencias en el incremento en biomasa, ayuda al desarrollo de las raíces lo que permite mayores posibilidades de sobrevivencia y desarrollo en el corto plazo.

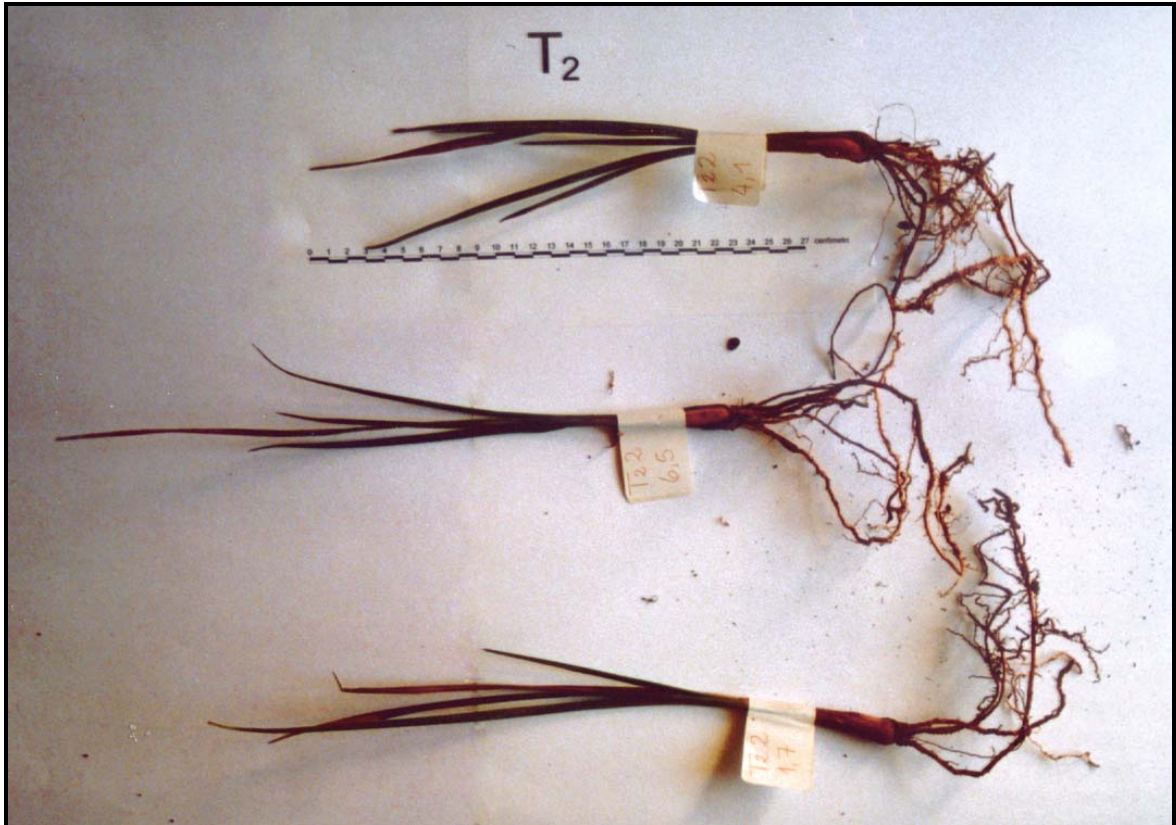


Figura 7.- Muestras de plantas del experimento A con 120 gramos de fertilizante, tratamiento T_2 .

5.2.2.- Experimento B

En el segundo experimento se probaron seis dosis de fertilizante más un testigo, dentro de las cuales fueron repetidas las dosis ocupadas en el experimento A.

Los valores obtenidos a partir de las muestras extraídas para este experimento, para el total de la planta (parte aérea más raíces), son expuestos en el Figura 8 por tratamiento y repetición. Cabe recordar que los valores por parcela representan la acumulación de biomasa total promedio por planta.

Como se pudo apreciar, aunque no existan diferencias estadísticamente significativas, son cuatro los tratamientos que obtuvieron un mayor incremento total en su peso seco, estos son T_1 , T_2 , T_3 y T_6 . A su vez los promedios por tratamiento obtenidos para ellos son 9,61; 8,98; 9,69 y 8,46 gramos respectivamente.

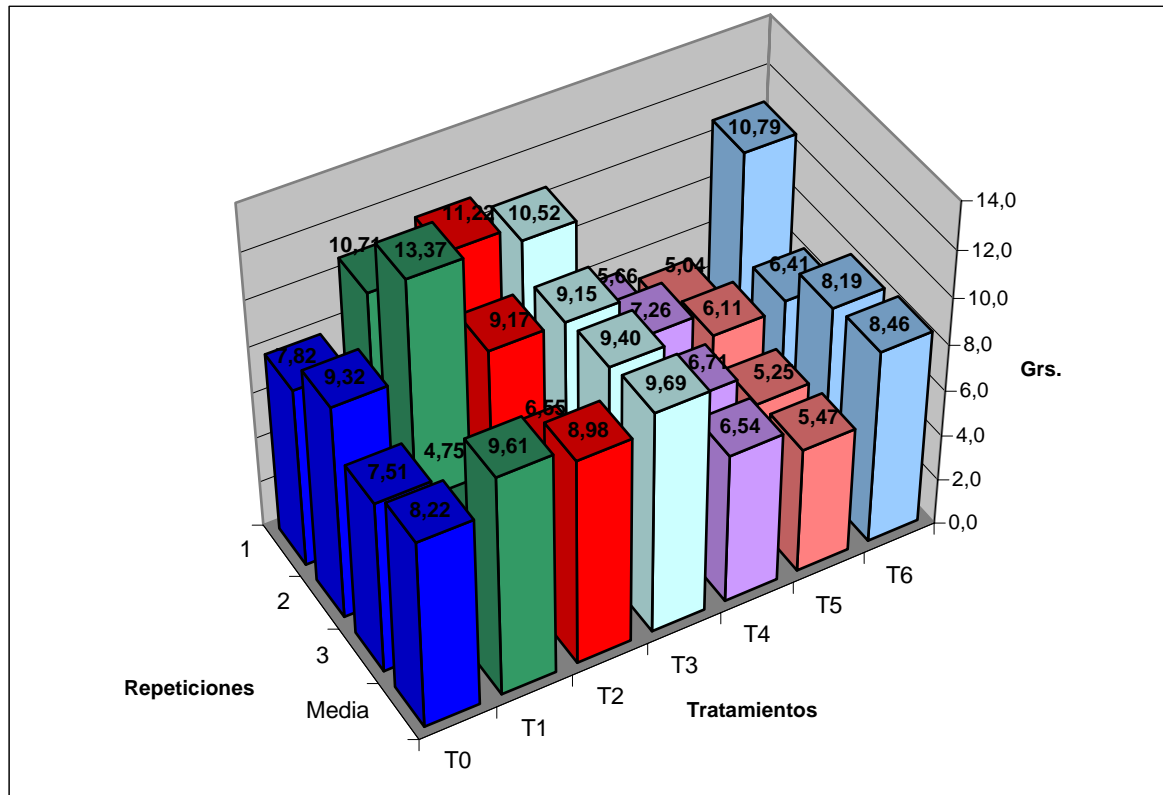


Figura 8.- Acumulación de biomasa promedio para el total de la planta por tratamiento y repetición. Experimento B.

Analizando estos resultados con respecto a los obtenidos en el experimento A, corresponde realizar una comparación en relación al tratamiento T_1 . De esta forma se puede observar que la media de este tratamiento es superior a la media global del experimento B en 1, 47 gramos, es superior a los tratamientos T_0 , T_2 , T_4 , T_5 y T_6 en 1,39; 0,63; 3,07; 4,14 y 1,44 gramos respectivamente y sólo es inferior al tratamiento T_3 en 0,08 gramos de materia seca.

Al igual que en el caso anterior se separó el peso seco de la planta en parte aérea y subterránea para generar un análisis más detallado que permita concluir con respecto a este experimento.

Para la parte aérea de la planta (Figura 9) tampoco se encontraron diferencias estadísticas significativas que permitan inferir o recomendar alguno de los tratamientos pero se puede observar que se mantienen como tratamientos predominantes los mismos anteriores.

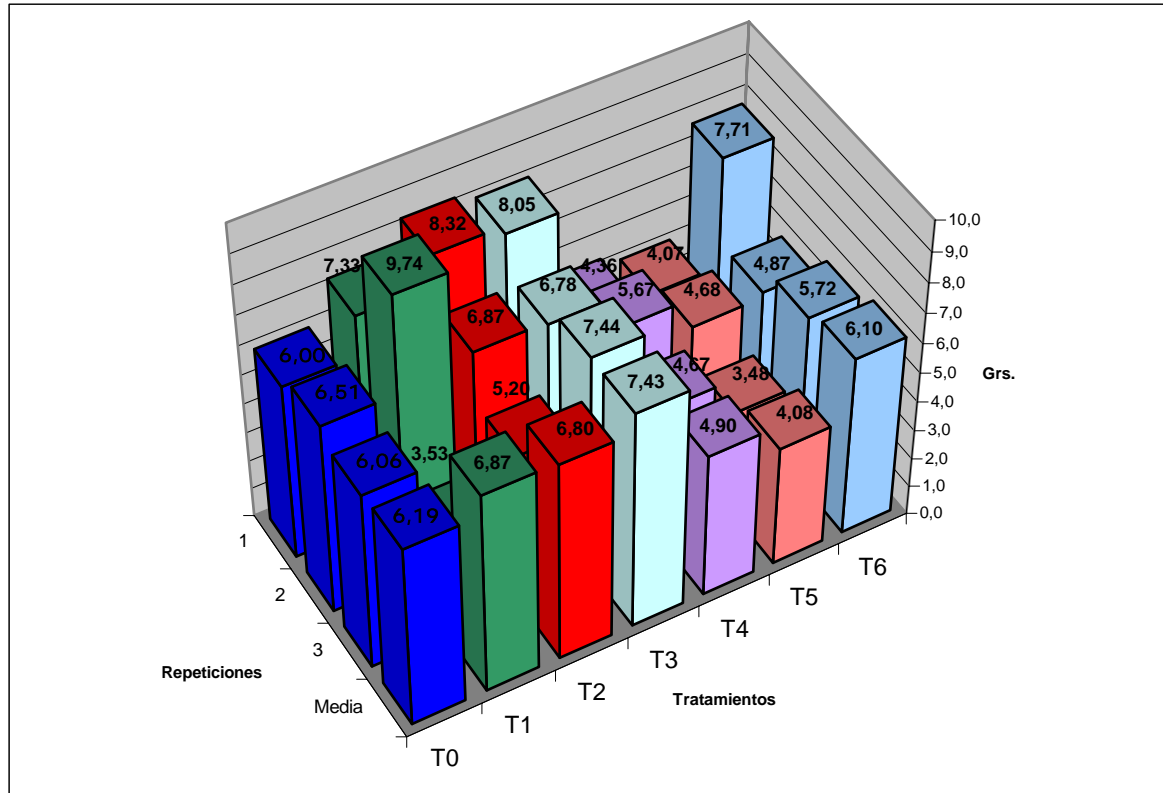


Figura 9.- Acumulación de biomasa promedio para la parte aérea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento B.

Para este caso la media del tratamiento T_1 fue de 6,87 gramos lo que es superior a la media del experimento en un 13,5 % es decir 0,82 gramos. A su vez, este tratamiento es superior a todos los tratamientos aplicados en 1,25 gramos en promedio, a excepción del tratamiento T_3 él que es superior en 0,56 gramos con respecto a la media de T_1 .

Por último, para la parte subterránea nuevamente se cumple que los tratamientos dominantes fueron T_1 , T_2 , T_3 y T_6 , aunque la diferencia de este análisis radica en que el tratamiento T_1 fue superior a todos los tratamientos con una media de 2,75 gramos de materia seca, la que es superior en un 31,5 % respecto a la media de todos los tratamientos y superior en 0,38 gramos al tratamiento mas cercano, es decir al tratamiento T_6 (figura 10).

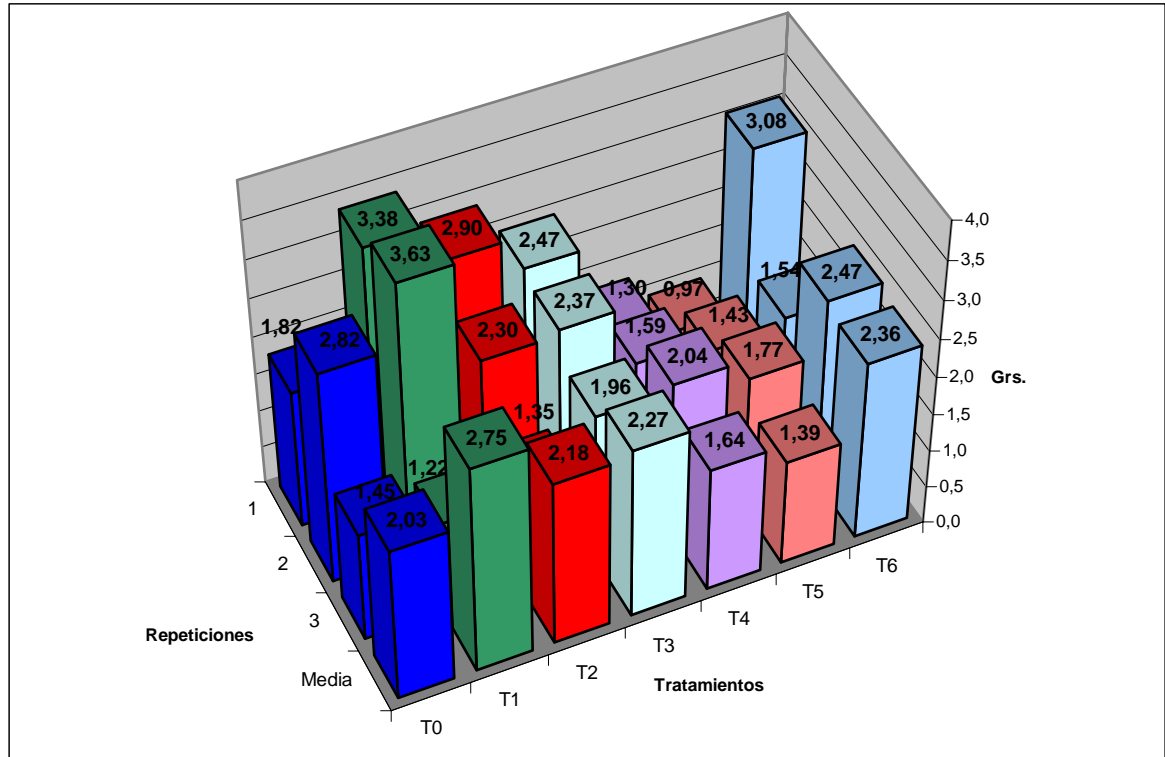


Figura 10.- Acumulación de biomasa promedio para la parte subterránea de la planta por tratamiento y repetición. Experimento B.

Por otra parte, del análisis visual de las muestras para los tratamientos que obtuvieron los mejores resultados dentro del experimento B (figuras 11, 12 y 13), es decir, los tratamientos T₁ (60 g), T₂ (120 g), T₃ (180 g) y T₆ (360 g). Se puede apreciar que el tratamiento T₁ (figura 11 B) al igual que en el experimento A, es el que presenta mejor desarrollo radicular en comparación con los otros tratamientos debido a su mayor número de raíces, la cantidad de ramificaciones y a la gran cantidad de pelos radicales presentes.

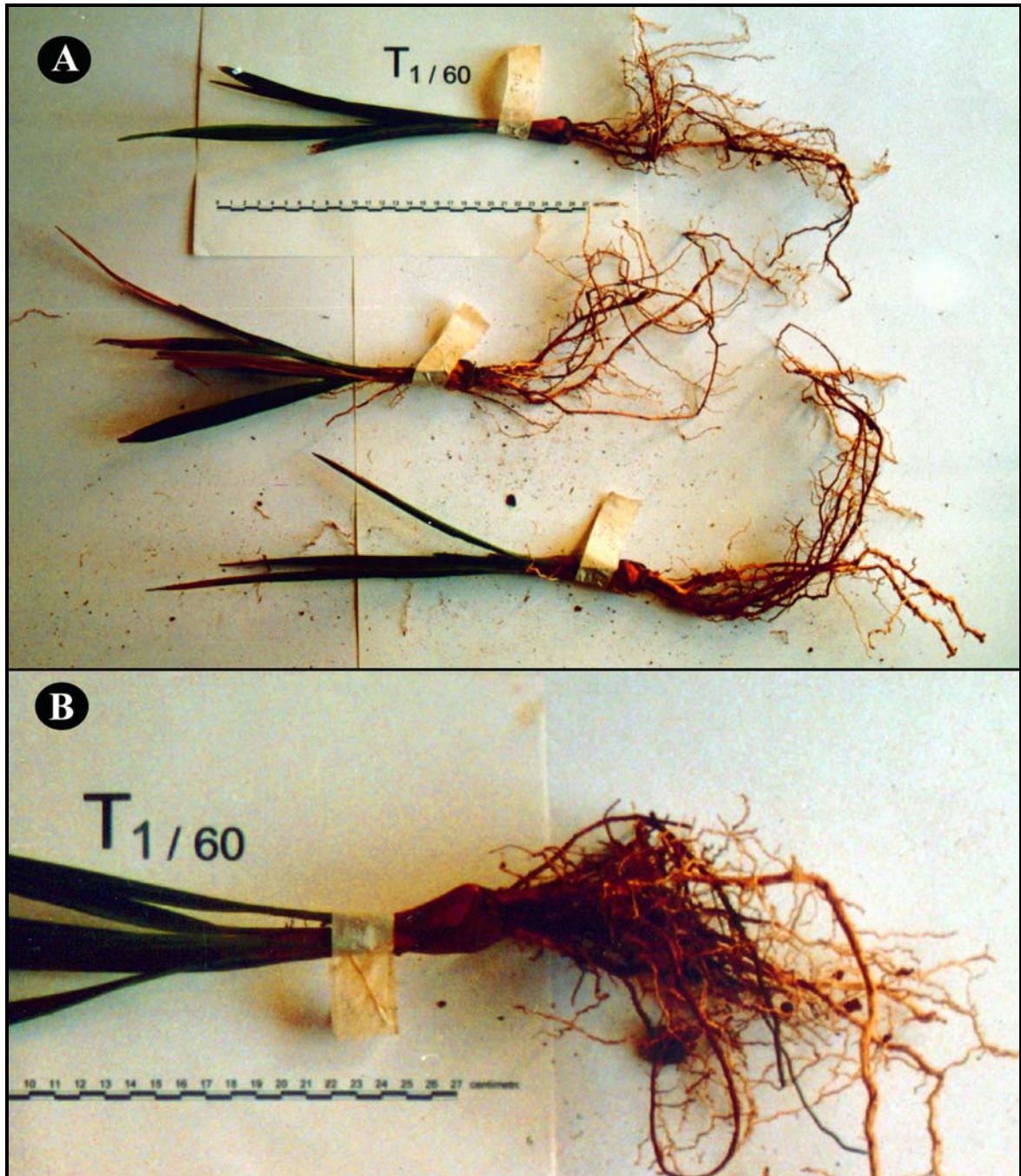


Figura 11.- A) Fotografía de plantas del experimento B a las que se les aplicó 60 gramos de fertilizante, tratamiento T₁. B) Acercamiento a las raíces de una planta con 60 gramos de fertilizante, donde se observa el gran número de raíces que ésta posee.

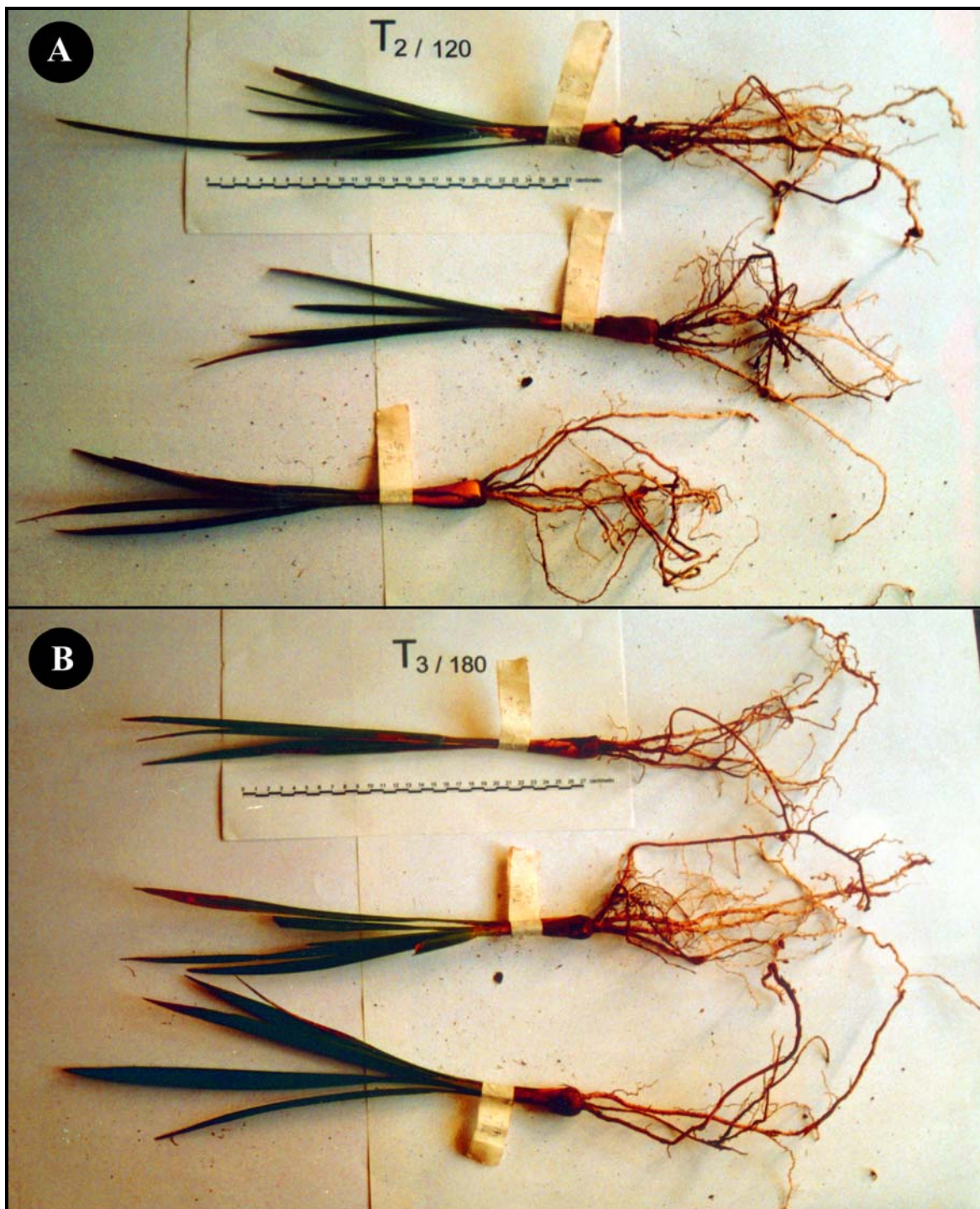


Figura 12.- A) Fotografía de plantas del experimento B a las que se les aplicó 120 gramos de fertilizante, tratamiento T₂. B) Fotografía de plantas a las que se les aplicó 180 gramos de fertilizante, tratamiento T₃.

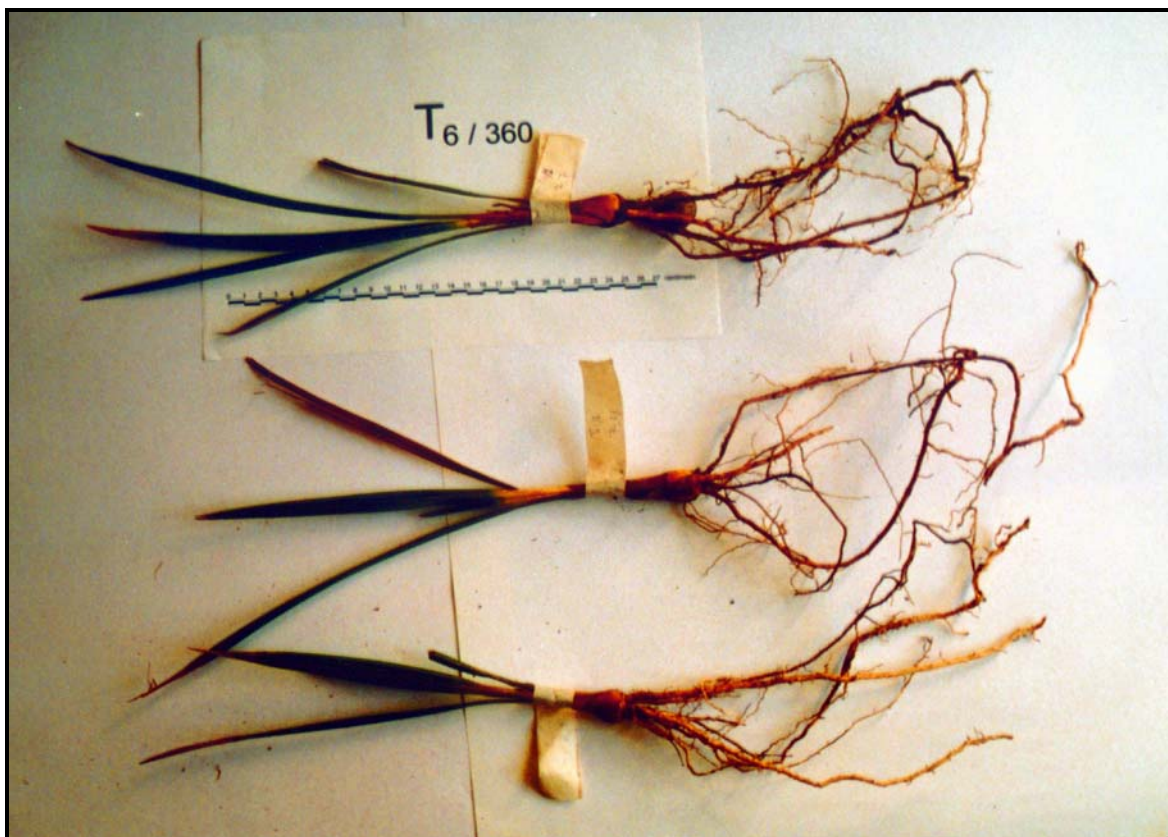


Figura 13.- Fotografía de plantas del experimento B a las que se les aplicó 360 gramos de fertilizante, tratamiento T₆.

Para este experimento además se realizó una prueba de análisis foliar de NPK y micronutrientes esenciales como calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc presentes en la fertilización. Es preciso hacer notar que en Chile no existe referencia de valores para las concentraciones de estos elementos en palma chilena, por lo que los resultados del análisis son meramente referenciales y sólo pueden ser comparados entre sí o con otro estudio, pero no se pueden dar rangos de suficiencia o insuficiencia de nutrientes.

Manteniendo el enfoque en el experimento T₁ y analizando los datos obtenidos, se puede observar que para el caso del nitrógeno, el tratamiento en cuestión alcanza un valor de 1,45 % el que sólo fue superado por el tratamiento T₅ con un 0,03 % más. A su vez, este valor comparado con el obtenido por Vega (2001) en experimentos de germinación de palma, es inferior sólo en un 0,28 %. Si se supone que el valor de referencia obtenido a través de germinación en vivero, en condiciones ideales, en un valor catalogado como muy bueno para la palma chilena, se podía inferir que el resultado obtenido por el tratamiento T₁ es un resultado, por lo menos, dentro de los rangos de bueno a muy bueno.

Por su parte los niveles de fósforo y potasio son los más altos del experimento obteniendo valores de 0,15 y 1,92 % respectivamente. Éstos, comparados también con los valores de referencia, pueden ser catalogados como valores buenos para el caso del fósforo y muy bueno para el potasio, encontrándose diferencias de 0,01 % para el primero y un incremento de 1,25 % por sobre la referencia para el segundo elemento.

Para el caso de micronutrientes sólo se encuentran buenos resultados para el cobre del tratamiento T₁, por sobre los otros y sobre todo con respecto al valor de referencia, por lo que se puede catalogar el nivel como muy bueno. Para los otros elementos el tratamiento analizado no presenta los valores más altos e incluso todo el experimento presenta valores inferiores a los de referencia a excepción de los valores de manganeso.

Es importante recordar que en el ensayo B, el tratamiento T₁ no obtuvo diferencias estadísticas significativas en el incremento en peso seco de la parte subterránea como su homólogo del experimento A. Esto puede ser debido al menor tamaño de la muestra que se tenía para el experimento y, por ende, la menor capacidad de "elección" de muestras. También es necesario tener en cuenta que existen diferencias en la preparación de suelo con respecto al experimento A, ya que éste fue colocado en un lugar subsolado una temporada antes y en época de invierno, lo que puede ocasionar bolsas de aire en el suelo que no permitan el buen desarrollo radicular debido a la poda que este elemento produce. Otra discrepancia que también puede ocasionar incompatibilidades con respecto al primer ensayo, es la diferencia en el tamaño y cantidad de sombra otorgada por los sombreaderos, en el primer experimento fueron usados sombreaderos de mayor tamaño (70x70 cm) y mayor cobertura (85 % de sombra).

En consecuencia y aunque no existan diferencias estadísticas significativas que permitan recomendar alguno de los tratamientos analizados para este experimento, es posible diferenciar el tratamiento T₁ (60 gramos) como sobresaliente por sobre los otros, tanto en el análisis de biomasa subterránea como en el análisis de nutrientes foliares. Por lo tanto, según los datos entregados es posible recomendar la aplicación de 60 gramos de fertilizante como una práctica silvicultural aconsejable al momento de la plantación bajo condiciones similares a las de este estudio, debido a que genera un mejor sistema radicular, lo que permitiría inferir una mejor sobrevivencia y desarrollo futuro de los ejemplares.

6.- CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos no permiten diferenciar, de forma estadística, los efectos de la fertilización sobre la sobrevivencia de palma chilena. Es decir, las diferencias encontradas en la sobrevivencia de los distintos experimentos, al cabo de una temporada, no puede ser atribuido a aplicación de fertilizante.
- Bajo las perspectivas del análisis estadístico realizado a la acumulación de biomasa de toda la planta para el experimento A, muestra que los incrementos de planta con fertilizante no difieren sustancialmente de las que se obtendrían al no ser aplicado.
- Por otra parte, al separar los incrementos en biomasa y generar un análisis independiente para la parte aérea y subterránea de la planta, se observan diferencias estadísticamente significativas en el incremento de biomasa de raíces, encontrándose que la dosis de 60 gramos de fertilizante obtiene un mejor resultado.
- El incremento radical, tanto en largo, número de raíces y cantidad de pelos radiculares, hacen recomendable la aplicación de 60 gramos de fertilizante debido a que, por la mejor calidad de éstas, se puede inferir un mejor desarrollo futuro de la planta y una mayor sobrevivencia.
- Para el experimento B, no se encontraron diferencias estadísticas significativas en el incremento en biomasa para la planta completa, parte aérea o subterránea, que puedan ser atribuidas como efecto de la fertilización.
- Al generar un análisis más detallado es posible definir al tratamiento T₁, equivalente a 60 gramos de fertilizante, como el tratamiento más sobresaliente entre las siete dosis ocupadas y al igual que en el experimento A, se observó un incremento en biomasa radicular presentando a su vez mayor cantidad de ramificaciones y pelos radicales.
- El análisis foliar efectuado al experimento B entregó como resultado que las plantas fertilizadas con 60 gramos de fertilizante obtienen un mayor nivel de macronutrientes, con valores cercanos al de una planta desarrollada en vivero. Por otra parte, los niveles de micronutrientes en general son bajos e inferiores al valor de referencia, a excepción del cobre que es notoriamente superior.

6.1.- Recomendaciones

- Para un análisis más detallado de los efectos de la fertilización en palma chilena es conveniente tomar un período de observación de por lo menos dos años, debido a que el crecimiento de la especie es demasiado lento como para ver los efectos generados por la aplicación de nutrientes dentro de una misma temporada.
- Bajo condiciones edafo-climáticas similares a las de este estudio sería recomendable la práctica silvicultural de fertilización con una dosis de 60 gramos al momento de la plantación, ya que económicamente no causa gran impacto y permitiría asegurar un mejor desarrollo radical en la plantas de palma chilena, lo que se debe traducir en menor mortandad dentro de los primeros años de vida de la especie y un mayor desarrollo futuro.

7.- BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ANGULO, J. 1985. La palma chilena. Interesante recurso renovable. Sociedad Agrícola y Hacienda Las Palmas de Cocalán Ltda. Santiago, Chile. 50 p.
- ARAVENA, B. 2003. Efecto del riego y la preparación del suelo sobre la biomasa inicial y la sobrevivencia de palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon) en la Comuna de Lolol, VI Región. Memoria Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. p: 26 – 56.
- ARRUÉ, K. 2000. Ensayo de Germinación de Palma Chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon) con fines de propagación masiva. Memoria Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Santiago. 80p.
- BARRUETO, H. e IBACETA, L. 1992. La Palma chilena: Una experiencia promisorio. Revista Chile Forestal nº 201:16.
- BINKLEY, D. 1993. Nutrición forestal. Primera edición. Editorial Limusa. México D.F., México. p: 13 – 19.
- CANAVOS, G. 1988. Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos. Editorial McGraw-Hill, Mexico D.F., Mexico. 651 p.
- CASTILLO, J. 2000. Efecto del riego sobre la sobrevivencia y biomasa inicial de plantaciones de palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon), en la Comuna de Lolol. Memoria Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. p: 31 – 70.
- CONSIGNY, A. 1963. Forêts de palmiers au Chili. Bois et Forêts des Tropiques 91: 3-9.
- DEL CAÑIZO, J. A. 1991. Palmeras; 55 especies con sus características, clima, suelo, cuidados y viveros donde encontrarlas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. p: 139 – 140.
- DONOSO, C. 1981a. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Valdivia, Chile. p: 185 – 207.
- DONOSO, C. 1981b. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal. Documento de trabajo Nº 38. CONAF/F.A.O. Santiago de Chile. p: 6.

- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) 1986. Guía de fertilizantes y nutrición vegetal. Servicio de Fertilizantes y nutrición de las plantas N° 9. Dirección de fomento de tierras y aguas. Roma, Italia. 198 p.
- GONZÁLEZ, C. 1993. Evaluación de un ensayo de fertilización en *Eucalyptus globulus* Labill. en las dunas de Chanco, séptima región. Memoria Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. p: 11 – 45.
- GONZÁLEZ, L. y VITA, A. 1987. Palma: Usos, regeneración y tratamientos. Revista del Campo 11 (569): p: 14-15.
- GROS, A. 1986. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 7º Edición, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 560 p.
- IGNATIEFF, V. 1959. El uso eficaz de los fertilizantes. Estudios Agropecuarios N° 43. F.A.O. Italia. 227 p.
- LEONARD, D. 1990. Suelos, siembras y el uso de fertilizantes. Un manual para trabajadores del desarrollo. 1º Edición en Español. Editorial Cuerpo de Paz. Paraguay. 340 p.
- PERALTA, J. 1980. Suelo, riego y fertilización en la forestación urbana. p:5 – 125.
- RUBINSTEIN, R. 1969. Inventario y estudio de producción de un rodal de Palma chilena, *Jubaea chilensis* (mol.) Baillon. (Hacienda Ocoa, provincia de Valparaíso) Tesis Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 81 p.
- THOMPSON, L. y TROEH, F. 1982. Los suelos y su fertilización. 4º Edición. Editorial Reverté. Barcelona, España. p: 15– 42.
- TORO, J. 1988. Efecto de la fertilización en el desarrollo inicial de plantaciones de eucalyptus. En simposio sobre Manejo Silvícola del Género Eucalyptus. Viña del Mar. XI. 120 p.
- TRAFOR. 1982. Estudio de la Palma Chilena. Corporación Nacional Forestal. Santiago. 89 p.
- VEGA M. 2001 Influencia del tiempo, tipo de almacenaje y del sustrato en la germinación de la palma chilena (*Jubaea chilensis* (Mol.) Baillon). Tesis Ingeniería Forestal, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. 99 p.

VON MAREES, A. 1988. Respuesta a la fertilización con NPK de una plantación recién establecida de *Eucalyptus delegatensis* R.T. Baker en la precordillera andina de la novena región. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. p: 25 – 48.

ZOTTL, H. y TSCHINKEL, H. 1971. Nutrición y fertilización forestal: Una guía práctica. Centro de publicaciones de la universidad Nacional de Colombia / F.A.O. Medellín, Colombia. p: 8-19.

Apéndice I

▪ Análisis de suelo

De las muestras de cada calicata se generó un perfil con las características generales del suelo y la descripción del mismo (Tablas 22 y 23). De este perfil, en ambas calicatas se puede observar que no existe capa orgánica superficial. En general los perfiles estaban bastante diferenciados en cuanto a color, los que iban de un pardo oscuro en los primeros horizontes a un pardo claro en los últimos, presentaban consistencia dura cuando estaban secas y estructura de bloques angulares y subangulares. La textura era principalmente del tipo pesada, con una predominancia de arcilla sobre los otros materiales. Sin presencia de moteados, aunque sí bastante oxidación en los horizontes A y B de ambas calicatas (color rojizo), lo que hacía pensar que los suelos eran moderadamente drenados, es decir el agua se mueve lentamente en estos horizontes sin ser retenida por grandes períodos de tiempo.

Tabla 23.- Características físicas del suelo en la zona de estudio, realizado para la calicata N° 1

	HORIZONTES	PERFIL	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA
CALICATA N° 1	A	0 a 8 cm	<u>En Seco:</u> 7.5 YR 5/6 Pardo Rojizo	Arcillo Arenosa con Grava	Bloques Angulares	<u>En seco:</u> Duro
	B	8 a 30 cm	<u>En Seco:</u> 7.5 YR 6/6 Pardo Amarillento	Franco Arcillo Arenosa Fina	Bloques Angulares y Subangulares	<u>En seco:</u> Duro
	C	30 a 72 cm	<u>En Seco:</u> 10 YR 6/6 Pardo Amarillento	Franco Arcillo Arenosa con Grava	Bloques Angulares y Subangulares	<u>En seco:</u> Duro
	D	72 a 90 cm	<u>En Seco:</u> 10 YR 8/2	Arcilloso Con Grava	Bloques Angulares	<u>En seco:</u> Muy Duro
	E	Lo que Resta del Perfil	<u>En Seco:</u> 10 YR 8/6	Arcilloso Con Grava	Masiva	<u>En seco:</u> Duro

En cuanto a las características generales del sector en estudio, no se observó presencia de pedregosidad superficial. La pendiente era del tipo simple, en valores que van de leve a plano.

Tabla 24.- Características físicas del suelo en la zona de estudio, realizado para la calicata N° 2.

	HORIZONTES	PERFIL	COLOR	TEXTURA	ESTRUCTURA	CONSISTENCIA
CALICATA N° 2	A	0 a 13 cm	En Seco: 7.5 YR 5/6 Pardo Oscuro	Arcillo Arenosa con Grava	Bloques Angulares	<u>En Seco:</u> Duro
	B	13 a 43 cm	En Seco: 2.5 YR 4/8 Rojo	Arcillo Arenosa con Grava	Bloques Angulares y Subangulares	<u>En Seco:</u> Duro
	C	43 a 73 cm	En Seco: 2.5 YR 4/8 Rojo	Arcillo Arenosa con Grava	Bloques Angulares y Subangulares	<u>En Seco:</u> Duro
	D	73 a 100 cm	En Seco: 10 YR 5/8 Pardo Amarillo	Franco Arcillo Arenosa Fina	Bloques Angulares y Subangulares	<u>En Seco:</u> Duro

Apéndice II

▪ Dosis de fertilización

Para el cálculo de la dosis aplicada se tomó como base el nitrógeno disponible según el análisis de suelo y lo que debía ser aportado para llegar a los niveles regular y adecuado según una tabla de índices generales. De esta forma se tiene que:

- Calicata 1, nitrógeno disponible: 2,35 ppm.
- Calicata 2, nitrógeno disponible: 3,79 ppm.
- Promedio nitrógeno disponible: 3,07 ppm.
- Diferencia con el nivel Regular de nitrógeno = $30 - 3,07 = 26,93$ ppm
- Diferencia con el nivel Adecuado de nitrógeno = $60 - 3,07 = 56,93$ ppm

Como $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg/kg}$, implica que para llegar al nivel regular son necesarios 26,93 mg de nitrógeno por kilogramo de suelo y para llegar al nivel adecuado 56,93 mg/kg de suelo.

Conociendo la densidad del suelo en estudio ($1,432 \text{ g/cm}^3$) se calculó el peso del suelo ocupado por la planta, para lo que se estimó que la planta ocuparía en la temporada (octubre a marzo) un volumen $60 \times 60 \times 60$ centímetros, es decir un total de 216.000 cm^3 de suelo.

Por lo tanto la fórmula para el cálculo de la dosis fue:

$$D = \left(\frac{\text{vol. suelo}[\text{cm}^3] * \text{Densidad suelo}[\text{g/cm}^3]}{1000} * \frac{\Delta F[\text{mg/kg}]}{1000} \right)$$

Donde:

D: dosis a aplicar.

ΔF : diferencial de nutrientes en ppm.

Es decir:

Vol. Suelo = 216.000 cm^3

Densidad suelo = $1,432 \text{ g/cm}^3$

ΔF : 26,93 mg/kg para llegar al nivel Regular

56,93 mg/kg para llegar al nivel Adecuado

Por lo tanto para el nivel regular la dosis fue:

$$D = \left(\frac{216000 * 1,432 * 26,93}{1000} \right) = 8,3297 \text{ gramos de nitrógeno efectivo por planta.}$$

y para el nivel adecuado:

$$D = \left(\frac{216000 * 1,432 * 56,93}{1000} \right) = 17,6091 \text{ gramos de nitrógeno efectivo por planta.}$$

Como el fertilizante empleado sólo entregaba en su composición un 14 % de nitrógeno efectivo, lo que implica que por cada kilo de fertilizante sólo hay 140 gramos del componente, se calculó la dosis necesaria para llegar al requerimiento de nitrógeno dado en el punto anterior, de la siguiente forma:

$$F = \frac{100 * N}{14}$$

donde: F = Dosis final de fertilizante.
 N = Cantidad de nitrógeno efectivo necesario

De esta forma las dosis de fertilizante que se ocuparon para llegar a los niveles regular y adecuado de nitrógeno son:

Dosis 1 F = 59,4978 gramos de fertilizante.

Dosis 2 F = 125,7792 gramos de fertilizante.

Para hacer más fácil la medición y aplicación del fertilizante, se decidió redondear las cifras obtenidas a través del cálculo anterior. Además se redujo la segunda dosis en cinco gramos para que fuera el doble de la primera.

De esta forma las dosis empleadas finalmente para el estudio fueron:

Dosis 1 **60 gramos de fertilizante**
Dosis 2 **120 gramos de fertilizante**

Apéndice III

■ Fórmulas estadísticas

Formulas para el cálculo de la suma cuadrados totales (SCT), la suma de cuadrados de los tratamientos (SCTR) y la suma de los cuadrados del error (SCE).

$$SCT = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} y_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{N}$$

$$SCTR = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_i} (y_{.j} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \frac{T_{.j}^2}{n_j} - \frac{T_{..}^2}{N}$$

$$SCE = SCT - SCTR$$

En la Tabla 25, se observa la tabla de análisis de varianza factorial (ANDEVA), que es generada a partir de los cálculos anteriores.

Tabla 25.- Tabla de análisis de varianza factorial (ANDEVA)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	F tabulada
Tratamientos	$k - 1$	SCTR	$CMTR = SCTR / (k - 1)$	CMTR/CME	
Error	$(N - k)$	SCE	$CME = SCE / (N - k)$		
Total	$N - 1$	SCT			

Fuente: Canavos, 1988.

Para el cálculo de comparaciones de medias de las combinaciones L_1 , L_2 y L_3 se ocupó la siguiente relación:

$$\hat{L} - A * s(\hat{L}) \leq L \leq \hat{L} + A * s(\hat{L})$$

Donde:

$$A = \sqrt{(k-1)F_{1-\alpha;(k-1)(N-k)}}$$

$$s(\hat{L}) = \sqrt{CME \sum_{j=1}^k \frac{c_j^2}{n_j}}, \text{ donde } \sum_{j=1}^k c_j = 0$$

Apéndice IV

- Cálculo de comparación de medias para la parte subterránea del experimento **A**

Relaciones:

$$L_1 = \mu_0 - \mu_1$$

$$L_2 = \mu_0 - \mu_2$$

$$L_3 = \mu_1 - \mu_2$$

- Por lo tanto para $L_1: \mu_0 - \mu_1$

$$\mu_0 = 1,793$$

$$\mu_1 = 2,860$$

$$L_1: [(1,793 - 2,860) - 0,85725137] \leq (1,793 - 2,860) \leq [(1,793 - 2,860) + 0,85725137]$$

$$L_1: [-1,924 ; -0,209]$$

- Para $L_2: \mu_0 - \mu_2$

$$\mu_0 = 1,793$$

$$\mu_2 = 1,956$$

$$L_2: [(1,793 - 1,956) - 0,85725137] \leq (1,793 - 1,956) \leq [(1,793 - 1,956) + 0,85725137]$$

$$L_2: [-1,019 ; 0,695]$$

- Para $L_3: \mu_1 - \mu_2$

$$\mu_1 = 2,860$$

$$\mu_2 = 1,956$$

$$L_3: [(2,860 - 1,956) - 0,85725137] \leq (2,860 - 1,956) \leq [(2,860 - 1,956) + 0,85725137]$$

$$L_3: [0,047 ; 1,762]$$