

UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

RESPUESTA EN CRECIMIENTO DE *Pinus taeda* L. A LA  
FERTILIZACIÓN INICIAL EN SUELOS ARENOSOS DEL CENTRO-  
OESTE DE CORRIENTES, ARGENTINA

**LUIS ALBERTO DALPRÁ**

Ingeniero Forestal

Director: Prof. Dr. **JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES**

Tesis presentada a la Universidad Nacional de  
Misiones como exigencia parcial de la  
Maestría en Ciencias Forestales - orientación  
Silvicultura y Manejo

Facultad de Ciencias Forestales

Eldorado, Misiones, Argentina

Abril de 2007

A mi esposa Liliana Alvez, y a Lautaro Giuliano Dalprá,  
A quiénes este trabajo les ha quitado algunas horas de vida en familia,  
por su paciencia;

A mis padres Ruperto Luis Dalprá y Adela Hilda Wanderer,  
Por el impulso de progreso que me han sabido transmitir a través de la valoración  
del estudio y el perfeccionamiento,

Les dedico este trabajo.



# **MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES**

Orientación: Silvicultura y Manejo Forestal y Economía y Administración Forestal  
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES - UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES  
Bertoni 124 - (03751) 431780 - 3382 ELDORADO-MISIONES

## **DEFENSA DE TESIS**

### **FORMULARIO DE EVALUACION**

TESISTA (Apellido y Nombre)

Lin Alberto Delgru

TITULO DE LA TESIS

Respuesta en crecimiento de Pinus taeda L. a la fertilización inicial en suelos arenosos del Centro-Oeste de

DIRECTOR/ ES DE LA TESIS (Apellido y Nombre)

Corrientes Argentina  
Jose Leonardo de Moraes Goncalves

EVALUADORES (Apellido y Nombre)

Ing. Agr. Alberto Daniel Sosa

Ing. Agr. Roberto Fernandez

CALIFICACION (en número y letras)

Diez - A

#### **Régimen de Calificaciones:**

A: Excelente A: 9.0 a 10.0  
B: Bueno B: 8.0 a 8.9  
C: Regular C: 6.0 a 7.9  
D: Insuficiente D: 0 a 5.9

#### **OBSERVACIONES:**

Lugar y Fecha: Eldorado, 02 de marzo de 2007

Firma y aclaración de los Evaluadores:

Roberto Alberto Sosa

Roberto Fernandez

BERTONI 124 - KM.3 - C.P.N° 3382-GD - ELDORADO (MISIONES) - ARGENTINA - TEL. (03751) 431526/431780/431766-fax

mailto:maestrado@facfore.unam.edu.ar

web: www.facfore.unam.edu.ar

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente el tener a Leonardo Gonçalves como mi orientador y además por el hecho de poder contar con su amistad. Con él hemos recorrido en Corrientes, en Mayo de 1998, los sitios de los futuros ensayos cuando los campos a ser forestados se habían adquirido recientemente. En ese momento se nos suscitaron una serie de interrogantes, algunos de los cuales intentamos develar con los resultados de lo expuesto en el presente trabajo.

Al Ing. Ftal. Ivo Götz, agradezco en un lugar preponderante, dado que nada de esto hubiera sido posible sin su apoyo y visión. Al jefe forestal de los campos de Corrientes, Ing. Ftal. Armando Gamboa por la asistencia en la elección de los sitios de los ensayos y el mantenimiento de los ensayos. Al personal de campo del contratista Ing. Ftal. Eduardo Stirnemann quiénes colaboraron en la instalación de las parcelas, la aplicación de los fertilizantes, las mediciones de las parcelas y recolección de muestras. Al Ing. Ftal. Enrique Verón y su equipo quien junto a la Ing. Ftal. M.Sc. Mirta Báez han realizado las mediciones de los últimos dos años de seguimiento de los ensayos. Al Ing. Ftal. Ricardo Austin, bajo cuya dirección ha estado el área forestal de la empresa en el período final de evaluación de los ensayos. A todos un sincero agradecimiento por el apoyo brindado.

Al personal del IPEF, por la atención en los trámites administrativos y en especial por la asistencia y cordial recibimiento en el Laboratorio de Ecología Aplicada del Departamento de Ciencias Forestales – ESALQ-USP, bajo cuya responsabilidad estuvieron los análisis de suelos y hojas. Al Dr. Cassiano Sasaki por el apoyo durante la aplicación inicial de los fertilizantes y las discusiones sobre la temática. Al Ing. Ftal. M. Sc. Rubén Costas por su asistencia con los análisis estadísticos. Al personal administrativo y Coordinación de Posgrado de la Facultad de Cs. Forestales por su dedicación, especialmente a Magdalena Ibañez. A los colegas Ing. Ftal. M. Sc. Patricio Mac Donagh e Ing. Ftal. Hugo Reis por la lectura de los borradores y aportes a la discusión. A los compañeros y profesores de la Maestría por su amistad y dedicación.

# RESPUESTA EN CRECIMIENTO DE *Pinus taeda* L. A LA FERTILIZACIÓN INICIAL EN SUELOS ARENOSOS DEL CENTRO-OESTE DE CORRIENTES, ARGENTINA

Autor: LUIS ALBERTO DALPRÁ

Director: Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

**Palabras clave: fertilización forestal, *Pinus taeda*, nutrición forestal, suelos arenosos, Corrientes.**

## RESUMEN DE LA DISERTACIÓN

El objetivo del presente trabajo ha sido el de evaluar el efecto en el crecimiento de plantas de *Pinus taeda* L. hasta los 47 meses de edad, a la aplicación inicial de macro y micro nutrientes (N, P, K, B, Zn, Cu, Ca, Fe, Mn y Mg) en suelos arenosos de las UC 15 y 65 (cordones arenosos), los cuales ocupan una superficie superior a las 400.000 ha, diseminados entre el SO y el NE de la Provincia de Corrientes. El sitio de los ensayos se ubicó sobre una plantación comercial del campo *Toro Cuaré*, departamento de Concepción, localizado a 40 km al norte de la localidad de Chavarría sobre la ruta provincial No. 22, con coordenadas 28° 44' de latitud S y 58° 19' de longitud W. Las dosis de los macronutrientes se aplicaron en cuotas durante el primero, segundo y tercer año de edad de las plantaciones, comenzando a los 7 y 9 meses para el ensayo de P y de N respectivamente. Conjuntamente se aplicaron micro nutrientes en dos cuotas hasta el primer año de edad de las plantas. Fueron medidas las variables de diámetro a la altura del cuello, altura total, diámetro de copa y sobrevivencia y se obtuvo por cálculo el índice de productividad. Se realizaron mediciones a los 15, 21, 33 y 47 meses para el ensayo con N, y 14, 19 y 33 meses para el ensayo con P; además se realizaron análisis de acículas en laboratorio en dos ocasiones entre los 19 y 31 meses para evaluar la concentración foliar de los nutrientes. Con los resultados dendrométricos y de análisis de acículas se realizaron ANOVA y además se intentaron hallar modelos de regresión lineal múltiple. Para el ensayo de N se constata una tendencia a un mayor crecimiento de *Pinus taeda* asociado con la adición de N, lo cual ocurre en los tratamientos en ausencia de Zn, Cu y/o B. Sin embargo la tendencia no es acompañada por todos los tratamientos fertilizados con N, ya que algunos tratamientos fertilizados con N hasta edad más avanzada no se diferencian del testigo, y además a temprana edad mostraron

depresión del crecimiento. La interacción de la fertilización de N en ausencia de Ca adiciona otro punto de interrogación, ya que tratamientos similares integran grupos de respuesta disímiles. Subsisten, por lo tanto, interrogantes acerca de la influencia de la fertilización nitrogenada y sus interacciones con los demás nutrientes, sobre el crecimiento inicial de *Pinus taeda* en estos suelos. Para el ensayo con P (3P-C1-PT-99) se ha verificado un mayor crecimiento de los tratamientos fertilizados con P respecto del tratamiento testigo hasta los 33 meses. El tratamiento de mejor desempeño (trat. 5) verificó un crecimiento 15,0% superior en IP que aquel sin fertilización, siendo la diferencia de crecimiento entre estos dos tratamientos la única diferencia estadísticamente significativa. En la medición de los 14 meses la diferencia entre estos tratamientos en la variable IP alcanza su mayor amplitud, de 17,2%. Sin embargo, los tratamientos de mejor desempeño no se diferencian significativamente del tratamiento de fertilización básica (trat. 2). A los 19 meses, sin embargo, no existen diferencias entre ninguno de los tratamientos. Basado en los análisis de concentraciones de nutrientes en las acículas y del crecimiento, la fertilización con N no sería recomendable, -y a priori incluso contraproducente a temprana edad-, hasta que se obtengan tendencias claras en las respuestas, para el desarrollo de las forestaciones de *Pinus taeda* en los suelos arenosos del centro-oeste de Corrientes, a pesar de lo poco fértil del suelo y en vista de que la ventaja otorgada por la fertilización se diluye con el transcurso del tiempo. La fertilización con P en estos suelos solamente sería recomendable luego de un análisis financiero y si el mayor crecimiento observado se mantuviera después de los 33 meses, siendo que una fertilización básica (como fuera definida en este trabajo) no se diferencia de la aplicación de los tratamientos con P; y la ventaja inicial de la adición de fertilizantes respecto de la no fertilización disminuye con el decorrer del tiempo. Los tenores de nutrientes en las acículas de las plantas están dentro o por encima del rango ideal citado por la literatura. Esto no se cumple, sin embargo, para Mg y S en ambos ensayos analizados. Las concentraciones foliares de B y N a los 19 meses y las dosis de fertilizantes de estos nutrientes aplicadas hasta los 15 meses se hallan fuertemente asociadas y en forma directa, en modelos de regresión, pero se relacionan en forma inversa con la dosis de P. A su vez la concentración foliar de N está asociada directamente con la dosis de Ca aplicada hasta los 12 meses e inversamente con las dosis de N y B aplicadas hasta los 15 meses. Coincidente con lo hallado para Boro en el ensayo con N, también en el ensayo con P se verifica un fuerte grado de asociación (positiva) entre la dosis de B aplicada con su concentración foliar.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
EVALUACIÓN TRIBUNAL EXAMINADOR .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN .....	v
CONTENIDO .....	vii
LISTA DE TABLAS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	12
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES .....	16
2.1 Antecedentes sobre fertilización en <i>Pinus taeda</i> .....	16
2.2 Fundamentación de los tratamientos .....	20
CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
3.1 Suelos y clima del área del estudio .....	23
3.2 Elección de los sitios de los ensayos .....	27
3.3 Diseño experimental .....	28
3.4 Tratamientos ensayados .....	30
3.5 Análisis estadístico de las mediciones .....	37
CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....	38
4.1 Caracterización del suelo antes de la aplicación de los fertilizantes .....	38
4.2 Resultados de los análisis foliares y mediciones dendrométricas	
4.2.1 Ensayo 3N-C1-PT-99 .....	39
4.2.2 Ensayo 3P-C1-PT-99 .....	50
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN .....	62
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES .....	67
BIBLIOGRAFÍA CITADA .....	69

ANEXOS .....	74
A. Fuentes de fertilizantes, características y concentraciones .....	74
DATOS SOBRE EL AUTOR .....	74



## LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Superficie de las UC 15 y 65 en la zona forestal III .....	25
Tabla 3.2 Descripción sintética de los tratamientos del ensayo 3N-C1-PT-99 .....	32
Tabla 3.3 Descripción sintética de los tratamientos del ensayo 3P-C1-PT-99 .....	34
Tabla 3.4 Precipitaciones mensuales y totales anuales. INTA EEA Mercedes – Corrientes .....	35
Tabla 3.5 Temperatura media mensual y promedio anual. INTA EEA Mercedes – Corrientes .....	35
Tabla 4.1 Análisis físico del suelo (profundidad 0-20 cm) de las áreas experimentales .....	38
Tabla 4.2 Análisis químico del suelo (profundidad 0-20 cm) de las áreas experimentales .....	38
Tabla 4.3a Tenores de nutrientes de las acículas, ensayo 3N-C1-PT-99, a los 19 meses de edad .....	40
Tabla 4.3b Tenores de nutrientes de las acículas, ensayo 3N-C1-PT-99, a los 31 meses de edad .....	40
Tabla 4.4 Análisis del diámetro del cuello (DAC), altura (ALT), diámetro medio de la copa (DCM), IP (índice de productividad) y sobrevivencia del ensayo 3N-C1-PT-99, a los 15, 21, 33 y 47 meses .....	44
Tabla 4.5 Ecuación de regresión: sobrevivencia a los 21 meses vs. dosis de macronutrientes aplicados a los 15 meses .....	47
Tabla 4.6 Ecuac. regresión: sobrevivencia 21 meses vs. concentración foliar a los 19 meses .....	47
Tabla 4.7 Ecuac. regresión: incremento en altura entre los 21 y 15 meses vs. dosis de macronutrientes aplicados y acumulados hasta los 15 meses .....	48
Tabla 4.8 Ecuación de regresión: incremento en altura entre los 21 y 15 meses vs. contenido foliar de S, Mn, K, Cu, y B y Zn .....	48
Tabla 4.9 Ecuación de regresión: concentraciones foliares a los 19 meses vs. dosis de fertilizantes .....	49
Tabla 4.10 Ecuac. regresión: concentraciones foliares de nutrientes a los 19 vs. dosis de fertilizantes ...	49
Tabla 4.11a Tenores de nutrientes en acículas, para el ensayo 3P-C1-PT-99, a los 19 meses de edad ....	51
Tabla 4.11b Tenores de nutrientes en acículas, para el ensayo 3P-C1-PT-99, a los 28 meses de edad ...	51
Tabla 4.12 Análisis del diámetro del cuello (DAC), altura (ALT), diámetro medio de la copa (DCM), IP (índice de productividad) y sobrevivencia del ensayo 3P-C1-PT-99, a los 7, 14, 19 y 33 meses .....	55
Tabla 4.13 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 14 meses con las dosis de nutrientes aplicadas de los 7 a los 12 meses .....	58
Tabla 4.14 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 14 meses con las dosis de nutrientes aplicadas de los 7 a los 12 meses .....	58
Tabla 4.15 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 19 meses con las dosis de nutrientes aplicadas hasta los 14 meses .....	59
Tabla 4.16 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 14 meses (alt19-14) con las dosis de nutrientes aplicadas hasta los 14 meses .....	59
Tabla 4.17 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 7 meses (alt19-7) con la interacción de dosis de nutrientes aplicadas hasta los 14 meses .....	59
Tabla 4.18 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 7 meses (alt19-7) con las concentraciones foliares a los 19 meses .....	60
Tabla 4.19 Ecuación de regresión múltiple que relaciona B19f con la dosis de Boro aplicada a los 14 meses (B14) .....	60

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Campo Toro Cuaré, ubicado a mitad de distancia entre Chavarría y Concepción, sobre la ruta N° 22, provincia de Corrientes .....	13
Figura 3.1 Plano de ubicación relativa de ensayos en los rodales 16 y 17 .....	32
Figura 3.2 Plano del ensayo 3N-C1-PT-99 y detalle de la parcela experimental. ....	33
Figura 3.3 Plano del ensayo 3P-C1-PT-99 y detalle de la parcela experimental .....	34
Figura 4.1 Tenores de nutrientes (g.kg-1) en las acículas del ensayo 3N-C1-PT-99, a los 19 y 31 meses de edad, con barras verticales indicando desvío estándar de la media. En líneas rojas, el rango ideal según la literatura .....	41
Figura 4.2 Diámetro a la altura del cuello (DAC) (a) y Altura (b) y de las plantas a los quince (1), veintinueve (2), treinta y tres (3) y cuarenta y siete meses (4) para los diferentes tratamientos; barras verticales indican desvío estándar de la media, para el ensayo 3N-C1-PT-99. ....	46
Figura 4.3 Tenores de nutrientes (g.kg-1) en las acículas del ensayo 3P-C1-PT-99, a los 19 y 28 meses de edad, con barras verticales indicando desvío estándar de la media. En líneas rojas, el rango ideal según la literatura .....	52
Figura 4.4 Diámetro a la altura del cuello (DAC) (a) y Altura (b) y de las plantas a los catorce (1), diecinueve (2) y treinta y tres (3) meses para los diferentes tratamientos; barras verticales indican desvío estándar de la media, para el ensayo 3P-C1-PT-99 .....	57
Figura 4.5 Terreno en preparación, se observa la aplicación de herbicida en el línea de plantación .....	61
Figura 4.6 Estado de los ensayos en Febrero de 2001, cuando las plantas contaban con 2,5 años de edad (30 meses) .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

N	Nitrógeno. Fuente: urea (N)
P	Fósforo. Fuente: superfosfato triple ( $P_2O_5$ )
K	Potasio. Fertilizante: cloruro de potasio (KCl). Fuente: $K_2O$
B	Boro. Fuente: ulexita (termobórax)
Zn	Zinc. Fuente: sulfato de zinc monohidratado
Cu	Cobre. Fuente: sulfato de cobre pentahidratado
Ca	Calcio. Fuente: calcáreo dolomítico
Mg	Magnesio. Fuente: calcáreo dolomítico
Fe	Hierro. Fuente: sulfato de hierro
Mn	Manganeso. Fuente: sulfato de manganeso
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos – Ministerio de Economía y Producción - República Argentina
IP	Índice de productividad (estimador del volumen cilíndrico de la planta)
DAC	Diámetro a la altura del cuello (a nivel del suelo) de la planta
ALT	Altura total de la planta desde el suelo hasta el ápice
DCM	Diámetro de copa medio de la planta
UC	Unidad cartográfica
B14	Dosis de B aplicada a los 14 meses, y así sucesivamente para el resto de los nutrientes
B19f	Contenido (concentración) foliar de B hallada en análisis de laboratorio a los 19 meses, y así sucesivamente
3N-C1-PT-99	Ensayo con N perteneciente a la serie de ensayos 3, instalado sobre lomada arenosa, con <i>Pinus taeda</i> , año de instalación 1999 (inicio de fertilización)
3P-C1-PT-99	Ensayo con P perteneciente a la serie de ensayos 3, instalado sobre lomada arenosa, con <i>Pinus taeda</i> , año de instalación 1999 (inicio de fertilización)

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Dentro del mapa forestal de la República Argentina, la mesopotamia (Misiones, Corrientes y Entre Ríos) acumula el 75 % de la superficie de bosques de cultivo (1). Del total de hectáreas forestadas en esta región, 61 % corresponde a especies de *Pinus* estando la superficie restante forestada con especies de *Eucalyptus*, *Araucaria angustifolia* y latifoliadas. En tanto, en Misiones y Corrientes las especies de *Pinus* acumulan el 78 % de la superficie forestada (1). A fines de 1998 la superficie forestada en la provincia de Corrientes alcanzaba 217.657 ha, de las cuales 57 % eran forestaciones de *Pinus sp.* (1). La superficie forestada ha aumentado en el país desde 1992 debido a la vigencia del régimen de promoción a las plantaciones forestales (2), alcanzando en Corrientes el siguiente ritmo anual de plantación, considerando sólo plantaciones de *Pinus sp.*: existentes hasta 1979, 38.232 ha; 1980-1983, 5.115 ha; 1984-1988, 15.900 ha; 1989-1993, 14.618 ha; 1994, 11.550 ha; 1995, 17.194 ha (3).

El presente trabajo se desarrolló en el campo denominado *Toro Cuaré* (28° 44' de latitud S y 58° 19' de longitud Oeste, altitud 60 msnm), un área comprendida entre los esteros del río Corrientes y los esteros del Batelito, departamento Concepción, localizado sobre la ruta provincial nro. 22 a 40 km al norte de la localidad de Chavarría, sobre suelos arenosos de la serie Pampín y Chavarría principalmente. Estos suelos ocupan una superficie superior a las 400.000 ha, diseminadas entre el SO y el NE de la Provincia de Corrientes según Aparicio (6), cuyo uso antes del presente proyecto forestal era la ganadería extensiva con pasturas naturales; el área está incluida dentro de la zona III en la clasificación forestal provincial (4). La aptitud forestal para especies de *Pinus* de estos suelos ha sido relevada a través de ensayos de INTA (5, 6) y se observa en las 14.999 ha de plantaciones en propiedades de particulares (3). Las plantaciones adultas existentes pertenecen principalmente a la especie *Pinus elliottii* y en menor escala a *P. taeda*. Sin embargo, las investigaciones en silvicultura de ambas especies en estos suelos se hallan en desarrollo y la pregunta de si los requerimientos nutricionales de estas especies se hallan atendidos en niveles óptimos, todavía tiene cuestiones a ser respondidas.

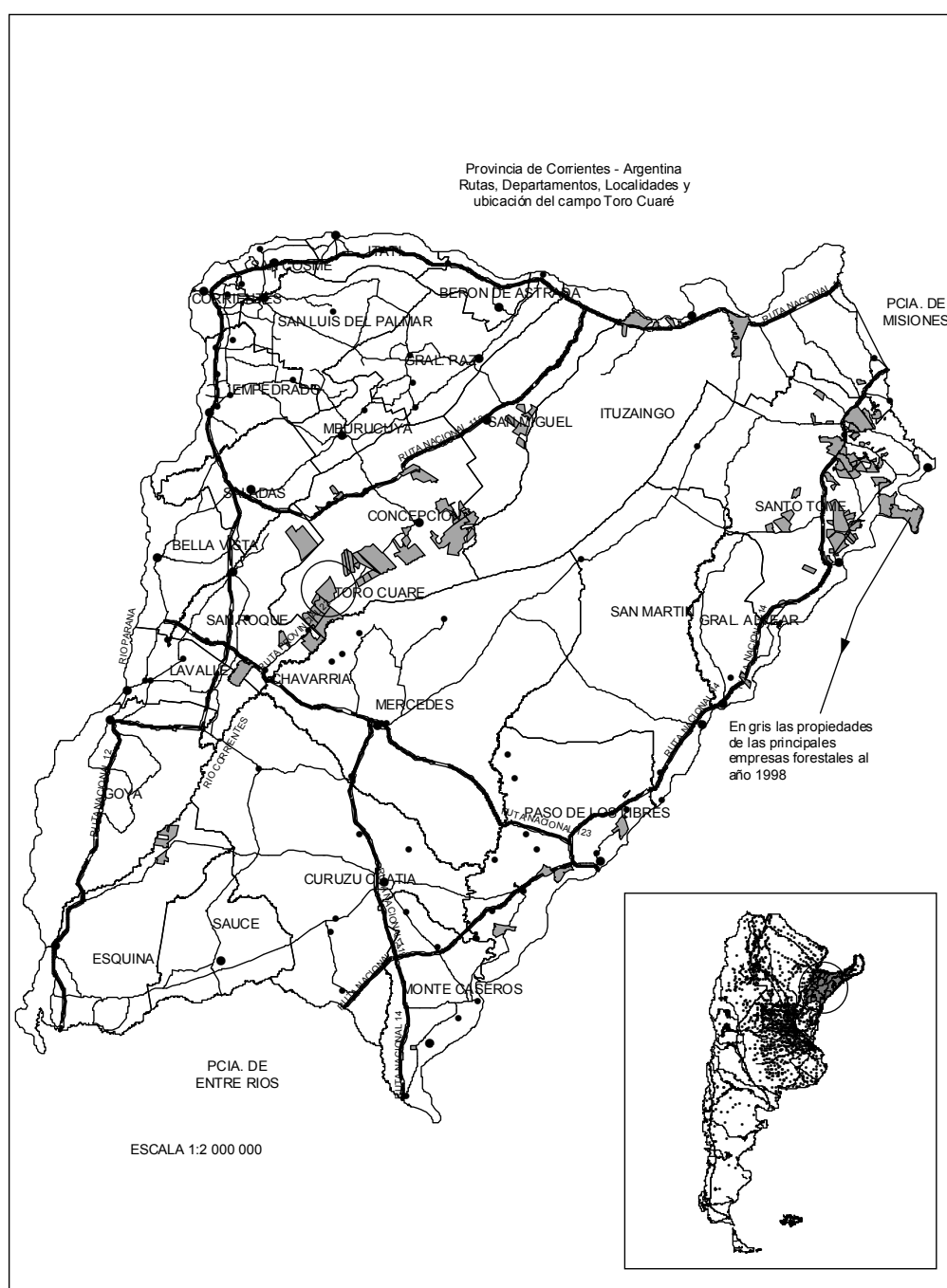


Figura 1.1 Campo Toro Cuaré, ubicado a mitad de distancia entre Chavarría y Concepción, sobre la Ruta No. 22, provincia de Corrientes.

De las cinco zonas en que se divide forestalmente a la provincia, la zona III incluye a los departamentos Saladas, San Miguel, Concepción, San Roque, Bella Vista y Mburucuyá; esta zona acumula el 17 % de la superficie actualmente forestada en Corrientes (4). Los suelos forestales de la zona III representan el 25,3 % de la potencial superficie forestable de la provincia; dentro de los referidos suelos encontramos a las planicies y lomadas arenosas, suelos aptos principalmente para *Pinus sp.* por sus limitaciones de profundidad y fertilidad. La superficie considerada como apta y muy apta para cultivo de *Pinus sp.* y *Eucalyptus sp.* a nivel provincial se estima en 1.152.900 ha (5). El plan de forestación de una sola empresa (7) proyectaba realizar en la zona forestal III (mayoritariamente en los departamentos de Concepción y San Roque), 80.000 ha con *P. taeda* y *P. elliottii* en un plazo de 18 años, a lo que se agregan otros productores de la zona que ya cuentan con forestaciones jóvenes y en plan de ampliación.

La determinación de cuáles nutrientes son limitantes al crecimiento y cuál debería ser la composición, época y dosis de fertilizantes a aplicar constituyen algunos de los mayores desafíos de un programa de fertilización según Crane, 1984 en (8). Considerando que el paquete tecnológico de establecimiento de forestaciones con *Pinus taeda* en los suelos arenosos de la referida zona forestal aún se encuentra en definición, y dados los importantes planes de inversión para el área de estudio, el desconocimiento de la respuesta a la fertilización de macro o de micro nutrientes se podría traducir en cuantiosas sumas de dinero invertidas a una baja relación costo-beneficio, por una ineficaz prescripción de nutrientes. Por el contrario, el hecho de no realizar fertilización o de fertilizar con una prescripción de efectos antagónicos podría acarrear la pérdida de crecimiento. Fernández et al. (9), observaron una asociación negativa de la fertilización de nitrógeno con el crecimiento del *P. taeda* en suelos rojos profundos del nordeste de Corrientes hasta los 34 meses de edad.

Los costos de preparación de terreno, incluyendo la plantación con plantines de *Pinus sp.* y el mantenimiento de la plantación hasta la edad de 24 meses insumían en esta zona, a valores del año 2003, unos 1.043 \$/ha (10). Pudiendo corresponder además de esta suma, otros 207 \$/ha aproximadamente a fertilizantes, si se aplicaran 150 gr/planta de Fosfato diamónico (10), incluyendo el costo de la tarea de aplicación.

El objetivo del presente trabajo consistió en medir la respuesta en el crecimiento de la especie *P. taeda* L., a la fertilización inicial de macro y micro nutrientes. Se ensayaron

dosis crecientes de macro nutrientes (N y P), las cuales se aplicaron en sucesivas cuotas durante el primer, segundo y tercer año de edad de las plantas. Con los macro nutrientes mencionados se aplicaron micro y macro nutrientes (K, B, Zn, Cu, Ca, Fe, Mn y Mg) en dos cuotas hasta el primer año de edad de las plantas. Las experiencias se han desarrollado hasta que la edad de las plantaciones alcanzaron 47 y 33 meses, para los ensayos con N y P respectivamente.

## CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES

### 2.1 Antecedentes sobre fertilización en *Pinus taeda*

Los efectos de la fertilización sobre el crecimiento de *P. taeda* han sido largamente documentados en el sudeste de EE.UU. y en Sudáfrica. Se reconoce que la mayoría de las especies de *Pinus* necesitan de altos tenores de Fósforo (P) en el suelo durante los estadios juveniles. Esta demanda nutricional cae gradualmente hasta el cierre de las copas, luego se mantiene estable, con pequeñas fluctuaciones, hasta la cosecha de los árboles.

Con el pasar del tiempo y el cierre de las copas, la mineralización disminuye drásticamente, acarreando, principalmente, la falta de Nitrógeno (N). Por ello, las plantaciones de *Pinus* con 3 o más años han recibido fertilizaciones de N, o de N+P, con excelentes respuestas. Excepciones a esta tendencia son los suelos pobres en P y bien drenados (11). Tratándose de fertilizaciones con P en plantaciones jóvenes, Allen (12) y Schmidting (13) comprobaron que las respuestas a las fertilizaciones con P fueron significativas tanto en suelos mal drenados como en los bien drenados.

Jokela y Stearns-Smith (14) ensayaron la fertilización en cuotas (parcelada) con N y P en plantaciones de *P. taeda*. Fueron ensayados 240 kg/ha de N y 60 kg/ha de P en una dosis única (sin parcelamiento), y 60 kg/ha de N, más 60 kg/ha de P, como fertilización en el momento de plantación y, luego de 2 años, se agregaron 180 kg/ha de N (fertilización en cuotas). Verificaron luego de 8 años de mediciones, un aumento de 93 % en área basal y 39 % en volumen. Además, los autores concluyen que no hubieron diferencias significativas entre las fertilizaciones únicas y en cuotas, a pesar de que la fertilización en cuotas es más interesante para no sobrecargar los costos iniciales de implantación de la plantación.

Tratándose de fertilizaciones en plantaciones de *Pinus sp.* en el sur de los EE.UU., Stearns-Smith et al. (16) y NCSFNC (17) recomiendan dosis de fertilizantes basadas en investigaciones conducidas por la CRIFF (Cooperative Research In Forest Fertilization, University of Florida) y NCSFNC (North Carolina State Forest Nutrition Cooperative), entre 180 y 240 kg/ha de N elemental y 30 a 60 kg/ha de P elemental. Cantidades semejantes son recomendadas por Allen (11), que indica una cuantía de 60 kg/ha de P en la



época de plantación o luego y 240 kg/ha de N, más 30 kg/ha de P cuando la plantación ya está establecida. El autor resalta que la época de aplicación no es tan importante, mas observa que en suelos muy pobres es crucial aplicar el P lo más rápido posible (en los primeros meses luego de la plantación). En sitios más fértiles, la aplicación de P puede ser retardada en 3 a 5 años, sin que haya reducción significativa del crecimiento inicial.

Jokela et al. (18) relatan que las principales fuentes de nutrientes usadas en plantaciones de *Pinus* sp. en EE.UU. son la urea, como fuente de N (principalmente por su precio y alto contenido del nutriente), los superfosfatos, como principales fuentes de P y, cuando ambos son requeridos, el fosfato diamónico (DAP por sus siglas en inglés) es generalmente el producto escogido. Sumado a esto, Allen (11), afirma que las fuentes fosfatadas típicamente utilizadas en estas plantaciones incluyen el superfosfato triple, el DAP, y el fosfato natural. En suelos perjudicados por la cosecha y muy arcillosos se recomienda la aplicación de N+P, en la forma de DAP.

Estudios realizados por Ballard (19) y Fischer & Pritchett (20), al comparar diversas fuentes de N y P en el sur de los Estados Unidos, demostraron que existe poca o básicamente ninguna diferencia en el crecimiento de las especies de *Pinus*. Por lo tanto, la elección de la fuente está basada principalmente en el precio del producto.

Para la mayoría de las especies de *Pinus* en África del Sur existen evidencias de que la fertilización en el momento de la plantación sólo es significativa cuando es usado el fertilizante correcto. Sin embargo, existen estudios que indican que la fertilización en el momento de la plantación es fundamental, Schutz (21) y Herbert (22, 23). Herbert & Schönaue (24, 25) relatan que la recomendación de fertilización para plantaciones de *Pinus*, en el momento de la plantación, solamente fue aceptada de manera reciente, debido a una serie de estudios realizados en el Cabo (sur de Sudáfrica). En estos estudios, los autores observaron que: (i) en suelos muy arenosos el N puede tornarse limitante debido a la rápida lixiviación de este nutriente, (ii) en *Pinus* sp. parece ser importante la disponibilidad de agua para que los fertilizantes tengan efecto en el crecimiento. A pesar de esto, fueron elaboradas las siguientes recomendaciones de fertilización al momento de la plantación:

- 175 a 210 g/árbol de superfosfato triple en *P. radiata*, *P. elliottii*, *P. taeda* y *P. pinaster* (24-28 kg/ha de P) en las plantaciones de sitios deficientes en P;

- En plantaciones con más de 3 años se debe aplicar cerca de 70 kg/ha de P, teniendo al superfosfato como fuente;
- 25 a 30 kg/ha de P en todas las plantaciones nuevas de *Pinus sp.* en suelos muy húmedos;
- En áreas de veranos lluviosos, se recomiendan de 100 a 300 g/árbol de 2:3:2 (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), ó 100 g al inicio y 200 g luego de que el árbol alcanza 50 cm de altura; estas dosis pueden significar una ganancia de hasta 40 m<sup>3</sup>/ha a los 8 años de edad.

En relación al lugar de aplicación del fertilizante, Donald et al. (26), indican que lo mejor es aplicar el fertilizante a 20 cm de la planta. Algunos estudios también demostraron que la aplicación localizada en pequeñas áreas (*spot application*) resulta en mayores diámetros que la aplicación en corona (*circle application*).

Ensayos con *P. taeda*, en áreas con verano lluvioso, fueron realizados en 1974. Seis años después de la aplicación en el momento de la plantación, hubo un aumento linear significativo del crecimiento a la combinación 2:3:2 (N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O), el cual creció levemente a los nueve años de edad. La respuesta a los micronutrientes fue significativa hasta los 5 años y no tuvo efecto a los 9 años de edad, Donald et al. (26).

Más recientemente, Herbert (31) realizó un ensayo de espaciamiento y fertilización que resultó en respuestas significativas a la aplicación estándar de 2:3:2 (N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O) en el momento de la plantación. Las respuestas fueron un aumento de 9 % en altura y 34 % en área basal por hectárea, como resultado de la aplicación de 150 g/árbol de 2:3:2 (N: P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O).

Localmente, tenemos que Aparicio y López (h) (32) analizaron la respuesta de *P. taeda* hasta los 36 meses de edad, a la fertilización con fosfato diamónico y al agregado de una cubierta de aserrín en suelos de la serie lomas del Depto. de Bella Vista, Corrientes. El ensayo, con un distanciamiento de 4 x 3 m, se realizó sobre *P. taeda* origen Marion, con los siguientes tratamientos: i) Control sin fertilizar; ii) 50 g/planta de fosfato diamónico (DAP); iii) 100 g/planta de DAP; iv) 150 g/planta de DAP; v) 200 g/planta de DAP; vi) 250 g/planta de DAP y vii) 300 g/planta de DAP. A los 36 meses no existían diferencias significativas entre tratamientos para las 3 variables evaluadas.

Fernández et al. (9) en suelos rojos profundos (arcillosos) del nordeste de Corrientes encontraron a los 34 meses de edad, diferencias altamente significativas en el diámetro a la altura del pecho, la altura y el volumen del árbol medio de plantas de *P. taeda* para las dosis de N y de P. No observaron diferencias al factor dosis de K y las interacciones (N x K), (P x K) y (N x P x K). La interacción (N x P) arrojó diferencias significativas para el diámetro a la altura del pecho y volumen del árbol medio. En todas las mediciones hasta los 34 meses, la aplicación de N se asoció con menor crecimiento tanto en diámetro (DAP), altura y volumen del árbol medio, resultando en menor crecimiento que el tratamiento testigo (sin fertilización). La respuesta al P fue positiva en todas las edades analizadas para las variables diámetro (DAP), altura y volumen del árbol medio.

Asimismo encontraron que las relaciones entre la concentración foliar de los nutrientes y las dosis de fertilizantes aplicadas no permitió identificar asociaciones estadísticas, tanto mediante el análisis de variancia como de regresión. El único caso fue el del azufre con dosis de fósforo. No obstante se observaron tendencias definidas. Las menores concentraciones foliares de Ca, Mg, K, Mn y Zn se detectaron en los tratamientos fertilizados solo con urea, particularmente en la máxima dosis, 100 g/planta.

En ensayos que probaron la respuesta a niveles e interacciones de N, P y K en el crecimiento de *P. taeda*, instalados en 1997 y evaluados a los 8 meses de edad sobre suelos arenosos de Corrientes, Aparicio et al. (6) encontraron respuesta a la aplicación inicial de fertilizantes. En *P. taeda* el ensayo ubicado en Concepción (Lomas Lindas – Santa Rosa) sobre suelos del orden Alfisol, la fertilización con N mostró un efecto negativo, altamente significativo, en el crecimiento de hasta 8 % menos en diámetro (sobre una media de 24,4 mm) cuando se aplicó la dosis máxima (90 g/planta) de urea. La fertilización con Potasio dio una diferencia significativa positiva en el crecimiento en diámetro de hasta 5.5 % con la mayor dosis de cloruro de potasio (94 g/planta). El Fósforo y las interacciones entre nutrientes no expresaron ningún efecto en el crecimiento en este sitio. Sin embargo en otros suelos arenosos (Ituzaingó al Norte y Paso de los Libres al Este), también Alfisoles, se detectó a los 8 meses de edad, diferencias altamente significativas en altura y diámetro para el P y diferencias significativas para la interacción P x K.

En las recomendaciones finales afirman que, considerando que los suelos arenosos son de muy baja fertilidad y por sus características físicas pobres en retención de humedad y nutrientes, la importancia de incorporar experiencias para evaluar la respuesta a la fertilización en dosis divididas en 2 ó 3 etapas durante el primer o segundo período de crecimiento. Asimismo, recomiendan evaluar la eficiencia de los fertilizantes de liberación controlada en este tipo de suelos. En cuanto a la respuesta a otros nutrientes, recomiendan como conveniente incluir nuevas experiencias evaluando algunos micronutrientes como el Boro y el Zinc, que en general son utilizados en algunos programas de fertilización de Chile, Sudáfrica y Brasil, y de hecho, en forma empírica, en algunos emprendimientos de nuestro país.

Vogel (39) en un trabajo que tuvo como objetivo estudiar los efectos de diferentes dosis de N, P y K en el crecimiento inicial de plantas de *Pinus taeda* a los 19 meses de edad, obtuvo una respuesta lineal y cuadrática significativa para P. Los fertilizantes fueron aplicados en el hoyo de plantación antes de la plantación y los resultados evaluados a los 19 meses, en un suelo húmico aluminico típico de textura arcillosa del nordeste del estado de Río Grande del Sur (municipio de Cambará del Sur). Los resultados evidencian la importancia de la aplicación de este nutriente en el crecimiento inicial de *P. taeda*, con la máxima ganancia en la variable volumen cilíndrico para las dosis de 64 y 87 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente.

En cuanto al papel que juega el Boro en la nutrición de las plantas, tenemos la referencia de Kramer & Koslowski, 1960, y Bernstein & Hayward, 1958 en Balloni (41), indicando que el nivel tóxico de B en el suelo y en las plantas está bastante próximo de los niveles de deficiencia. Para *P. taeda* mencionan análisis de acículas que encontraron 15 ppm de B en Kenia, Vail et. al. en Balloni (41). La acumulación más intensa del mineral ocurre en las hojas, revelando la importancia que tiene la caída de hojas en el suministro continuo del nutriente, Eaton, 1944 en Balloni (41).

## 2.2 Fundamentación de los tratamientos

Previamente a la instalación de los ensayos del presente trabajo, se han realizado evaluaciones nutricionales de plantaciones, mediante muestreo de sitios forestales en Misiones y Corrientes con amplias variaciones de fertilidad y productividad. Se relevaron

9 plantaciones de *P. taeda* en el norte de Misiones, en Pto. Libertad, sobre suelos rojos profundos principalmente. En Corrientes fueron 12 plantaciones de *P. taeda* sobre suelos arenosos al norte (Villa Olivari); en Gonçalves et al. (8) y Gonçalves et al. (35).

Con los resultados de los análisis químicos de suelos, la estimación de la producción volumétrica de las plantaciones mediante parcelas de inventario y los resultados del contenido de nutrientes en las acículas se intentó conocer el estado nutricional de los sitios y relacionarlos con su productividad. Los muestreos de suelos y acículas se realizaron entre Septiembre y Octubre de 1998. Para el análisis químico de los suelos se colectaron 20 muestras simples por sitio en la profundidad de 0 a 20 cm. Las muestras de acículas fueron colectadas de 20 árboles, dominantes o codominantes por sitio, del tercio superior de la copa, acículas maduras y expuestas al sol.

Los resultados y conclusiones del trabajo, Gonçalves et al. (8) indicaron que los suelos de la zona bajo estudio en Corrientes son, de modo general, muy arenosos (contenido de arcilla inferior a 4 % y contenido de arena superior a 90 %) y poseen bajo contenido de materia orgánica. En cuanto a la fertilidad de estos suelos, son en general de baja fertilidad. Los niveles de P, K, Ca, Mg y B son medios a bajos en la mayoría de los sitios forestales relevados. También los niveles de N son bajos, a causa del bajo contenido de materia orgánica. Se concluyó que la respuesta a la fertilización de algunos de estos nutrientes podría ser probable, debiendo ser constatada por medio de ensayos, Gonçalves et al (8).

No existieron diferencias tan acentuadas entre los contenidos de nutrientes de las acículas entre los sitios muestreados para *P. taeda*. Este resultado evidencia que esta especie tiene una capacidad de adaptación a diferentes niveles de fertilidad del suelo, Gonçalves et al (8).

Los macro nutrientes de las acículas de *P. taeda* no revelaron grandes diferencias entre sitios y aparentemente todos estuvieron dentro del rango considerado ideal; excepto el azufre (S) cuyo contenido está muy cercano al límite mínimo. Estos niveles se derivan de ensayos de campo y viveros, Jokela et al. (18) y Gonçalves et al., 1997, en Gonçalves et al. (8).

De los micro nutrientes, el contenido ideal de cobre (Cu) se desconoce, dado que la información que se relevó en la literatura no permite fijar rangos en forma consistente. De modo general, y a priori, se puede asegurar que el contenido de Cu en las acículas y suelos en los sitios relevados de Corrientes fue muy bajo. El Fe y el Mn no se deberían presentar como limitantes, dado su adecuado contenido acicular. El Zn se encontró próximo al valor mínimo ideal, principalmente en el norte de Corrientes. El B presentó una situación similar al Zn.

El potencial de respuesta a los micro nutrientes en las plantaciones de Corrientes podría ser significativa, si la fertilización con macro nutrientes produjera aumentos en la productividad y con ello mayores demandas de micro nutrientes, Gonçalves et al (8).

La determinación de cuáles nutrientes son limitantes al crecimiento y cuál debería ser la composición, época y dosis de fertilizantes a aplicar constituyen algunos de los mayores desafíos de un programa de fertilización según Crane, 1984, en Gonçalves et al. (8). Han sido desarrollados varios métodos de diagnóstico para auxiliar en esta determinación, pero pocos son plenamente satisfactorios en forma aislada. La combinación de dos o más métodos de evaluación de la fertilidad y el estado nutricional de los árboles es muy ventajoso, tales como la observación de síntomas visuales, análisis foliar y análisis de suelo (Gonçalves 1996), en Gonçalves et al. (8). Los análisis químicos de suelo y tejidos foliares han sido comúnmente usados para diagnosticar deficiencias nutricionales e identificar la necesidad de fertilización en plantaciones de Pinus, Jokela et al. (18), Allen (11). Ambas técnicas asumen que una plantación responderá a la fertilización si las concentraciones de nutrientes del suelo y/o del tejido vegetal estuvieran por debajo de niveles considerados ideales.

El análisis foliar parece ser el mejor método para diagnosticar las deficiencias nutricionales, cuando solamente es utilizado un método diagnóstico. Para muchas situaciones, el tejido foliar integra no solamente las condiciones del suelo, sino también las de la plantación. Sin embargo, pueden existir inconvenientes, como el ilustrado por Crane (1981), quién muestreando acículas de *Pinus radiata* antes y después de un raleo, encontró niveles más altos de nutrientes en los tejidos foliares después del raleo, complicando o hasta imposibilitando la interpretación de los resultados.

## CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Suelos y clima del área de estudio

El ecosistema predominante en los campos objeto del presente trabajo es de lomadas y planicies arenosas. Estas formaciones presentan un relieve suavemente ondulado, modelado por procesos hídricos y eólicos, con lagunas circulares y semicirculares de orientación NE a SW. Los suelos son arenosos con un espesor de 70 a 180 cm y apoyan sobre un suelo enterrado más antiguo de textura arcillo arenosa a franco arcillo arenosa de lenta permeabilidad, que actúa como piso de una napa de agua colgada (falsa napa) que presenta fluctuaciones estacionales. La vegetación característica es el pajonal de *Andropogon lateralis* (paja colorada), *Eringium sp.* (cardo) y gramíneas de porte bajo, (37).

Las lomadas arenosas presentan pendientes del 0,5 al 1 %, con vegetación de gramíneas con la paja colorada como dominante, asociadas a *Cynodon dactylon*, *Paspalum notatum* y *Sporobolus spp.* Los suelos arenosos dominantes son de color pardo amarillento, de drenaje imperfecto con presencia de una falsa napa de agua cuya base se encuentra entre 90 a 120 cm. desde la superficie, el escurrimiento y la permeabilidad son moderadamente lentos. Son susceptibles a la erosión eólica y poseen baja fertilidad natural. Las series de suelos que se hallan incluidas en estas lomadas son Chavarría y Pampín, (37).

Las planicies arenosas están conectadas al sistema de lagunas conformando planicies largas (mayores de 400 m) de no más de 0,5 % de pendiente. Su cercanía a las lagunas ocasiona un exceso de agua en el perfil del suelo en períodos húmedos debido a la menor profundidad de la falsa napa (50 a 70 cm. desde la superficie). Las series de suelos son básicamente las mismas que en las lomadas, siendo la vegetación natural predominante el pajonal de paja colorada, gramíneas de porte y especies asociadas a problemas de exceso de humedad, como *Hydrocotyle spp.*, *Oxalis spp.* y ciperáceas. El suelo dominante es de textura arenoso franco en superficie, (37).

### 3.1.1 Serie Pampín

Son suelos arenosos profundos, de color pardo a pardo oscuro en superficie y pardo amarillento en profundidad, con un espesor del manto arenoso de 120 cm. y más. Este manto arenoso apoya sobre un horizonte franco arcillo arenoso de color gris a gris azulado que corresponde a la base de una falsa napa que fluctúa hasta la superficie en períodos muy húmedos, saturando casi todo el perfil. Debido a la influencia de la falsa napa, todo el perfil presenta moteados y concreciones de hierro manganeso. Sus principales limitaciones para el uso forestal son: a) excesos temporarios de agua, b) baja fertilidad natural, altamente dependiente de los niveles de materia orgánica, c) susceptibilidad a la erosión eólica en períodos secos y ventosos y d) susceptibilidad a la erosión hídrica (erosión laminar).

La secuencia de horizontes del perfil modal es: A1 (0-16 cm.), A2 (16-36 cm.), AC (36-59 cm.), C1 (59-100 cm.), C2 (100-120 cm.), 2Btb (120 cm. a más). El uso predominante es la ganadería extensiva sobre pasturas naturales y la forestación. Para agricultura presentan severas limitaciones por el exceso de humedad y la baja fertilidad. La serie Pampín se incluye dentro de los Entisoles y se clasifican como Psamacuentes típicos, INTA (3).

### 3.1.2 Serie Chavarría

La serie Chavarría se localiza en posiciones idénticas a la serie Pampín; son suelos arenosos profundos de color pardo a pardo oscuro en superficie y pardo amarillento en profundidad, con un espesor del manto arenoso de 70 cm. y hasta un máximo de 120 cm. (esto último lo diferencia de la serie Pampín). El manto arenoso apoya sobre un horizonte franco arcillo arenoso de color gris a gris azulado, siendo éste la base de una falsa napa que fluctúa hasta la superficie en períodos muy húmedos. Las principales limitaciones son semejantes a las de la serie Pampín, siendo su índice de productividad, para ganadería y/o agricultura, menor al de la serie Pampín, INTA (3). El perfil modal presenta los siguientes horizontes: Ap (0-10 cm.), A (10-22 cm.), C (22-43 cm.), Ebg (43-63 cm.), Ebg (63-70 cm.), 2Btgb1 (70-80 cm.), 2Btgb2 (80 cm. a más), INTA (3). La serie Chavarría se incluye dentro del orden Entisoles y se clasifican como Psamacuentes spódicos, INTA (3).



### 3.1.3 Representación de los suelos anteriormente descriptos en la zona forestal III

En la zona forestal III se incluyen 291.800 ha de lomadas y planicies arenosas. Conforman las unidades cartográficas (UC) denominadas genéricamente como cordones arenosos (números 15 y 65), INTA (3). La unidad cartográfica 65 es una asociación de las series de suelos Pampín (50 %), Chavarría (30 %) y Primo (20 %). A su vez los cordones arenosos identificados con el número 15 son una asociación de las series de suelos Chavarría (50 %), Bravo (30 %) y Tres Bocas (20 %). Ambas unidades cartográficas se hallan representadas en los departamentos de la zona III con la siguiente superficie:

Tabla 3.1 Superficie de las UC 15 y 65 en la zona forestal III

<b>Departamento</b>	<b>Superficie Total (ha)</b>	<b>UC 15 (ha)</b>	<b>UC 65 (ha)</b>
<b>Bella Vista</b>	170.600	1.000	-
<b>Concepción</b>	547.600	83.500	102.400
<b>Mburucuyá</b>	102.100	-	-
<b>Saladas</b>	217.600	7.100	-
<b>San Miguel</b>	302.000	-	1.900
<b>San Roque</b>	255.900	83.700	12.200
<b>Total</b>	<b>1.595.800</b>	<b>175.300</b>	<b>116.500</b>

Fuente: INTA (3)

La UC 65 se halla incluida en su totalidad en la zona III. La UC 15, en cambio, se halla incluida en un 47 % de su superficie dentro de esta zona forestal, INTA (3).

### 3.1.4 Clima del área de estudio

Los estudios realizados por Burgos, 1970 y Ferrari – Bonis, 1965, en Pahn (33), determinaron para la provincia de Corrientes una temperatura media anual que varía entre 21,5 °C al Norte y 19,5 °C al Sur. El mes más frío es Julio con una temperatura media entre 16 °C y 13 °C y el más cálido Enero con la media que oscila entre 27 °C y 26 °C. El clima de Corrientes queda definido como subtropical o mesotermal por las temperaturas relativamente elevadas y su escasa variación anual. En verano se alcanzan máximas

absolutas que llegan a los 46,5 °C y en invierno mínimas de hasta – 5,5 °C. Las heladas son poco frecuentes no registrándose ninguna entre Octubre y Abril.

En el NE de la provincia las lluvias superan los 1500 mm anuales, descendiendo gradualmente hacia el ángulo SO hasta menos de 1000 mm. El régimen es irregular, siendo el otoño la época más lluviosa y el invierno la más seca. Los máximos y mínimos secundarios son en primavera y verano respectivamente. Si bien no se definen estaciones secas existen periódicamente períodos de escasez de lluvias (cada 4 a 6 años) y de real importancia cada 10 años según Carnevalli, (1994), en Pahn (33).

Las isoyetas anuales se distribuyen aproximadamente de N a S y decrecen de O a E, mientras que la evapotranspiración potencial anual aumenta desde el S hacia el N, correlacionadas con los incrementos de las isotermas anuales. Todo el territorio provincial está sujeto a un déficit, especialmente en verano. La deficiencia de agua y el mayor consumo de agua del suelo son fenómenos frecuentes en verano, la reposición de agua ocurre en el otoño debido a las lluvias intensas en esta estación y al menor consumo. Durante la primavera son normales los excedentes.

El área de estudio corresponde, según la clasificación de Thornthwaite a un clima húmedo por su índice hídrico entre 20 a 40. Es mesotermal con un índice de eficiencia termal inferior a 85,5. No existe deficiencia hídrica y la concentración en verano de la eficiencia térmica es del 8%. Los datos climáticos del Parque nacional Mburucuyá, distante 80 km en línea recta al norte, se pueden asimilar al área de estudio, Pahn (33).

### 3.2 Elección de los sitios de los ensayos

Los ensayos se localizaron en un campo conocido como Toro Cuaré, ubicado sobre la ruta provincial 22; el acceso al campo se encuentra a 40 km al norte de la localidad de Chavarría. Geográficamente se localiza a 28°45' de latitud Sur y 58°20' de longitud Oeste; la altitud promedio es de 60 metros sobre el nivel del mar.

Los ensayos de fertilización con *P. taeda* se instalaron sobre plantaciones comerciales cuando éstas alcanzaron entre 7 y 9 meses de edad. El sitio correspondió a una lomada arenosa.

Las plantaciones se establecieron en sitios considerados aptos para la referida especie (37). El uso anterior del campo fue históricamente la ganadería extensiva sobre pastizales naturales. La preparación de terreno para la plantación forestal incluyó la aplicación previa de glifosato sobre la superficie total. La aplicación se realizó 3 meses antes de la plantación y la dosis de glifosato fue de 3 l/ha. Dos meses antes de la plantación se roturó el suelo en la banda de plantación (1 a 1,2 m de ancho) con una rastra liviana. Un mes antes de la plantación, sobre un ancho de trabajo de 0,8 m se rompieron los terrones de suelo y raíces con un implemento de cuchillas rotatorias conocido como roto-vector, el cual alcanza una profundidad de trabajo de 30 cm. aproximadamente. Ambos implementos fueron traccionados con un tractor liviano de 90 HP.

La plantación se realizó en agosto de 1998 en forma mecanizada con plantadoras traccionadas con los mismos tractores mencionados anteriormente. La distancia entre líneas de plantación fue de 3,5 m y la distancia entre plantas fue de 3 m. Las plantas de *P. taeda* fueron viverizadas en maceta; el origen del material genético Marion, Florida, EE.UU., grado de mejora genética: huerto semillero clonal de 1ra. generación (HSC 1,0 G). La densidad promedio de plantas por hectárea fue de 952.

Coincidente con la plantación se aplicó sobre la banda de plantación (1,0 m de ancho) un herbicida preemergente formulado a base de oxifluorfen (Koltar®) a razón de 3 l/ha. En el resto de la superficie (melgas) se aplicó glifosato a razón de 4 l/ha. Todas estas operaciones fueron complementadas con combate químico de hormigas hasta que las plantaciones alcanzaron aproximadamente 24 meses.

La primera fertilización se realizó cuando las plantaciones alcanzaron 7 a 9 meses de edad. La fertilización no se realizó inmediatamente con la plantación asumiendo que los nutrientes se lixiviarían dado el poco desarrollo radicular de las plantas; de esta manera se la postergó con la intención de lograr un mejor aprovechamiento luego de transcurridos los meses de crecimiento iniciales. Previamente a la aplicación de fertilizantes se eliminó la maleza en la banda de plantación (1 m de ancho) por medio de la aplicación de glifosato a razón de 3 l/ha. Esta aplicación de herbicida se realizó en febrero de 1999, un mes antes de la aplicación de los fertilizantes.

### 3.3 Diseño experimental

El diseño experimental adoptado para todos los ensayos fue el de bloques completos al azar con 4 repeticiones. Cada parcela abarcó 7 líneas de plantación y 7 plantas por cada línea, sumando aproximadamente 49 plantas. El área media de cada parcela fue de 514 m<sup>2</sup>. A su vez la parcela sometida a medición (parcela útil) constó de 5 líneas con 5 plantas cada línea, sumando aproximadamente 25 plantas; cada parcela tenía, por lo tanto, un línea de bordura; el ensayo no tenía bordura en sus límites.

Los ensayos analizados en el marco del presente trabajo son:

- 1) Ensayo 3N-C1-PT-99 con 10 tratamientos y 4 bloques, totalizando 2,06 ha.
- 2) Ensayo 3P-C1-PT-99 con 7 tratamientos y 4 bloques, totalizando 1,44 ha

Trabajos de preparación de los sitios: previamente a la aplicación de fertilizantes se realizó la eliminación química de malezas en la banda de plantación (1 m de ancho) con glifosato, a una dosis de 3 l/ha. Estas aplicaciones de herbicidas se realizaron entre uno a dos meses antes de cada fertilización.

La dosis de fertilizante expresada en kg/ha se dividió para su aplicación, en dosis por planta (estimando 49 plantas por parcela) por medio del pesaje con balanza electrónica de 0,1 g de precisión. La dosis de cada planta se aplicó en forma de media corona a la distancia dada por la proyección de la copa sobre el suelo. Cada aplicación se realizó siempre del lado más próximo al Sur, de modo de sistematizar el trabajo. En las aplicaciones a partir del mes 36, la aplicación se realizó al voleo en la entrelínea (melga). El calcáreo se aplicó separado del resto de los nutrientes en prevención de posible

incompatibilidad de calcio (Ca) con los demás nutrientes y se realizó al voleo en la superficie total.

La primera aplicación de macro nutrientes, salvo Ca, se realizó en Marzo de 1999. Ese mismo mes se aplicaron los micro nutrientes, salvo el B. El B se aplicó en Mayo 1999, debido a demoras con la compra del producto. En Agosto de ese año se aplicó el calcáreo, al año de edad de las plantaciones; también se realizó en este mes la reposición de plantas muertas. A los 14 meses de edad (Octubre de 1999) se realizó la segunda aplicación de fertilizantes, que correspondía a la programada originalmente a los 12 meses de edad de las plantaciones. En Diciembre de ese año se realizó la limpieza manual (machete) de los líneas (1 m de ancho), seguida de aplicación de glifosato (3 l/ha).

### 3.3.1 Fuente de fertilizantes

En anexos se describen detalladamente las fuentes de fertilizantes utilizados. De modo general tenemos que se aplicaron: urea, superfostato triple, sulfato de cobre pentahidratado, sulfato de zinc monohidratado, sulfato de manganeso, sulfato de hierro, cloruro de potasio (KCl), ulexita (termobórax), calcáreo dolomítico; para N, P, Cu, Zn, Mn, Fe, K, Bo y Ca, respectivamente. Se prefirió el calcáreo dolomítico en vez del calcítico debido a la mayor concentración de magnesio (Mg) de este último.

### 3.3.2 Variables relevadas y mediciones realizadas

Se planificaron evaluaciones dendrométricas para cuando las plantaciones cumplieran los 6, 12, 24, 36 y 48 meses de edad. Las variables medidas en cada planta de la parcela útil fueron: la altura total (ALT) en metros, diámetro a la altura del cuello (DAC) en milímetros, sobrevivencia (%), diámetro de la proyección de la copa en sentido del línea y en sentido transversal a éste, diámetro de copa en el línea (DCL) en cm. y diámetro de copa en el entrelíneo (DCEL) en cm., respectivamente. A partir de la medición de los 36 meses se reemplazó la medición del DAC por la medición del diámetro a la altura del pecho (1,30 m), DAP (cm.). El DAC y DAP se midieron con forcípula; ALT con vara graduada; DCL y DCEL con cinta métrica. Con el DAC y la ALT se calculó el índice de productividad (ó factor de productividad) mediante:

$$IP = \frac{DAC^2 \times ALT}{10}$$

Donde:

IP = índice de productividad (en dm<sup>3</sup>)

DAC = diámetro a la altura del cuello (en cm)

ALT = altura total de la planta (en m)

Además se realizaron análisis foliares de los tratamientos relevantes. La colecta de acículas para realizar análisis foliares se realizaron luego de aproximadamente 3 a 4 meses posteriores a cada aplicación de fertilizantes.

Las acículas se colectaron de las plantas útiles de la parcela. Para cada tratamiento seleccionado se realizó la colecta en los bloques 1, 2 y 3 a efectos de obtener una muestra compuesta. Asimismo, por restricciones presupuestarias, se seleccionaron para el muestreo a aquellos tratamientos más relevantes desde el punto de vista del objetivo del ensayo. Por cada tratamiento se colectaron aproximadamente 10 g (en peso seco) de acículas; esto correspondió a unas 50 acículas individuales en estado verde. Las muestras se secaron en estufa a menos de 60 °C hasta peso constante y luego fueron enviadas al laboratorio para su molienda y análisis de macro y micro nutrientes. El análisis en laboratorio se siguió según la metodología propuesta por Malavolta et al. (34), en Gonçalves et al. (8). Se colectaron acículas maduras y expuestas al sol, del tercio superior de la copa de las plantas.

### 3.4 Tratamientos ensayados

#### 3.4.1 Ensayo 3N-C1-PT-99

*Pinus taeda* (PT) fertilizado con Nitrógeno en suelos de lomada arenosa (C1); año de inicio del ensayo, 1999. (El número tres indica ensayos de fertilización según una codificación interna).

Constó de 10 tratamientos, en los cuales se ensayó la respuesta del *P. taeda* a dosis de N desde 50 a 300 kg/ha. Las primeras 2 aplicaciones tuvieron un intervalo de 6 meses, luego se espaciaron a 12 meses hasta llegar a los 51 meses. El tratamiento sin fertilización (testigo) es el número 1. El tratamiento número 2 consistió en una fertilización denominada

*básica* que se aplicó dividida en 2 cuotas (9 y 15 meses). La fertilización básica (FB) incluye a los otros dos macro nutrientes (P y K, para este ensayo) y los micronutrientes calcio (Ca), boro (B), zinc (Zn) cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Los nutrientes de la FB se aplicaron a las dosis que según la literatura, Gonçalves et al. (8), cubren los requerimientos mínimos de esta especie. Para el P es de 100 kg/ha ( $P_2O_5$ ); para K es de 80 kg/ha ( $K_2O$ ); Calcio, 1000 kg/ha (calcáreo dolomítico); Boro, 2 kg/ha; Zinc, 2 kg/ha; Cobre, 2 kg/ha; Hierro, 3 kg/ha; Manganeso, 1 kg/ha. La FB aseguró que se hallen cubiertas las necesidades mínimas de cada una de los nutrientes y que por ende ninguno de ellos se torne limitante a medida que se aplicaran dosis crecientes del nutriente bajo ensayo (en este ensayo es N), de modo de no limitar la posible respuesta de éste.

Los tratamientos 3, 4 y 5 ensayaron dosis crecientes de N, desde 50 a 200 kg/ha, - siendo la aplicación de las dosis en forma de cuotas-, además de la FB. Los tratamientos 6, 7, 8 y 9 ensayaron igual dosis de N que el tratamiento 4, pero en la FB no se incluyó Boro, Zinc, Cobre y Calcio, respectivamente.

El tratamiento 10 ensayó la máxima dosis de N (300 kg/ha), pero en la FB no se incluyó Calcio.

Tabla 3.2 Descripción sintética de los tratamientos del ensayo 3N-C1-PT-99

Trat.	Descripción	Aplic. nº 1: 9 meses – kg/ha-	Aplic. nº 2: 15 meses -kg/ha	Aplic. 3: 27 meses - kg/ha	Aplic. 4: 39 meses - kg/ha
1	Sin fertilización	-	-	-	-
2	Fertiliz. Básica (FB): P,K,Ca,B,Zn,Cu,Fe,Mn	FB (sin N)	FB (sin N)	-	-
3	50 kg/ha N + FB	25 N + FB	25 N + FB	-	-
4	100 kg/ha N + FB	25 N + FB	25 N + FB	50 N	-
5	200 kg/ha N + FB	25 N + FB	25 N + FB	50 N	100 N
6	100 kg/ha N + FB - B	25 N + (FB-B)	25 N + (FB-B)	50 N	-
7	100 kg/ha N + FB - Zn	25 N + (FB-Zn)	25 N + (FB-Zn)	50 N	-
8	100 kg/ha N + FB - Cu	25 N + (FB-Cu)	25 N + (FB-Cu)	50 N	-
9	100 kg/ha N + FB - Ca	25 N + (FB-Ca)	25 N + (FB-Ca)	50 N	-
10	300 kg/ha N + FB - Ca	25 N + (FB-Ca)	25 N + (FB-Ca)	50 N	100 N

La dosis expresada en g/planta, a efectos de comparación con otros ensayos o publicaciones, se convierte mediante la división de la dosis en kg/ha por la cantidad de plantas/ha. En el caso de ambos ensayos del presente trabajo la densidad de plantas/ha es de 952, con lo cual el factor de conversión es de 0,952. Por ejemplo: 50 kg/ha de N para el tratamiento 3 implican una dosis de 52,5 g/planta.

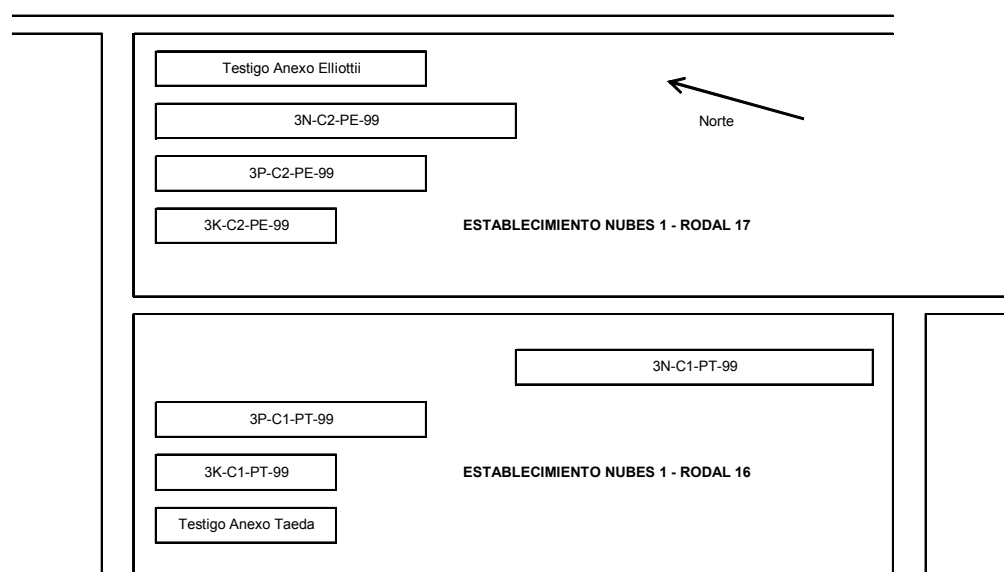


Figura 3.1 Plano de ubicación relativa de ensayos en los rodales 16 y 17.



3N-C1-PT-99

## PLANO DEL ENSAYO CON DETALLE DE TRATAMIENTOS Y BLOQUES

I	1	6	9	3	5	4	7	10	2	8
II	5	2	1	10	8	7	6	9	4	3
III	3	10	7	4	2	9	8	5	6	1
IV	4	9	8	6	1	10	2	3	7	5

245 m

84 m

## PLANO DE LA PARCELA CON DETALLE DE LAS PLANTAS

Parcela: 49 plantas (7x7). Plantas útiles: 25 (5x5).

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49

24,5 m

21 m

Figura 3.2 Plano del ensayo 3N-C1-PT-99 y detalle de la parcela experimental.

## 3.4.2 Ensayo 3P-C1-PT-99

*Pinus taeda* fertilizado con P en suelos de lomada arenosa; año de inicio del ensayo, 1999.

Constó de 7 tratamientos, en los cuales se ensayó la respuesta del *P. taeda* a dosis de P desde 40 a 120 kg/ha. Las primeras 3 aplicaciones tuvieron un intervalo de 7 a 5 meses entre ellas, luego se espaciaron a 14 meses hasta llegar a los 33 meses. El tratamiento sin fertilización es el número 1. El tratamiento número 2 tiene fertilización básica que se aplicó dividida en 2 aplicaciones (7 y 14 meses). La fertilización básica (FB) es idéntica a la del ensayo anterior, salvo que se incluyeron el N (50 kg/ha) y el K (40 kg/ha) y no se incluyó el P, cuya ausencia se ensayó.

Los tratamientos 3, 4 y 5 ensayaron dosis crecientes de P, desde 40 a 120 kg/ha además de la FB. Los tratamientos 6 y 7 ensayaron igual dosis de P que el tratamiento 4, pero en la FB no se incluyó Zinc y Calcio, respectivamente.

Tabla 3.3 Descripción sintética de los tratamientos del ensayo 3P-C1-PT-99

Trat	Descripción	Aplic. n° 1 7 meses – kg/ha	Aplic. n° 2 14 meses – kg/ha	Aplic. n° 3 19 meses – kg/ha	Aplic. n° 4 33 meses – kg/ha
1	Sin fertilización	-	-	-	-
2	Fertiliz. Básica (FB): N,K,Ca,B,Zn,Cu,Fe,Mn	FB (sin P)	FB (sin P)	FB (sólo N)	-
3	40 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + FB	20 P + FB	20 P + FB	-	-
4	80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + FB	20 P + FB	20 P + FB	40 P	-
5	120 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + FB	20 P + FB	20 P + FB	40 P	40 P
6	80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + FB - Zn	20 P + (FB-Zn)	20 P + (FB-Zn)	40 P	-
7	80 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + FB - Ca	20 P + (FB-Ca)	20 P + (FB-Ca)	40 P	-

3P-C1-PT-99

PLANO DEL ENSAYO CON DETALLE DE TRATAMIENTOS Y BLOQUES

I	1	6	2	3	5	4	7
II	5	2	1	4	7	6	3
III	3	4	7	2	6	5	1
IV	7	5	6	3	1	2	4

126 m

84 m

PLANO DE LA PARCELA CON DETALLE DE LAS PLANTAS

Parcela: 49 plantas (7x7). Plantas útiles: 25 (5x5).

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31	32	33	34	35
36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49

24,5 m

21 m

Figura 3.3 Plano del ensayo 3P-C1-PT-99 y detalle de la parcela experimental.

### 3.4.3 Condiciones climáticas del período 1998-2002

Con el objetivo de describir las condiciones meteorológicas imperantes con la época de aplicación de los fertilizantes se han incorporado al presente trabajo los datos de

la estación de INTA EEA Mercedes. En el mismo campo en el cual se han instalado los ensayos, se instaló una estación meteorológica semi-automática que serviría para los fines aquí descritos, pero no funcionó aceptablemente, observándose problemas técnicos que imposibilitaron la utilización de los datos. Por ello, para tener una referencia acerca de la precipitación pluvial y temperatura mensual durante la vida de los ensayos se tomaron los datos de Mercedes, localidad distante 60 km del área experimental en línea recta hacia el sur.

Tabla 3.4 Precipitaciones mensuales y totales anuales. INTA EEA Mercedes - Corrientes

	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
<b>1998</b>	362,5	146,5	181	671,5	25,5	148	78	24,2	101	65,5	51	138	1992,7
<b>1999</b>	42,5	185	160,5	155,5	77	38,5	64,5	23	54,5	100	64,5	139,5	1105
<b>2000</b>	144	123,5	214	177,5	166,5	40,5	60,5	47	47	82,5	237,5	154	1494,5
<b>2001</b>	315	46	125,5	157	36,3	97,1	17	136,5	42,8	175,2	161	54,7	1364,1
<b>2002</b>	63	56,7	435,5	463,8	89,5	18,2	159,5	28,7	95,5	156,3	213,9	482	2262,6
<b>Prom.</b>													
<b>1964-2002</b>	<b>146,1</b>	<b>157,3</b>	<b>184,4</b>	<b>185,0</b>	<b>95,7</b>	<b>68,5</b>	<b>62,3</b>	<b>58,0</b>	<b>95,7</b>	<b>140,0</b>	<b>144,8</b>	<b>135,5</b>	<b>1473,3</b>

Tabla 3.5 Temperatura media mensual y promedio anual. INTA EEA Mercedes - Corrientes

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
<b>1998</b>	24,5	23,5	21,6	18,4	16,1	13,6	14,8	14,3	15,2	19,3	21,4	23,6	<b>18,9</b>
<b>1999</b>	23,4	21,1	22,2	17,5	13,6	9,8	14,1	12,9	18,6	21,3	22,4	25,6	<b>18,5</b>
<b>2000</b>	26,4	25,6	22,3	21,3	16,6	14,8	10,2	15,6	17	21,3	21,6	24,8	<b>19,8</b>
<b>2001</b>	25,6	27,2	25,8	21,3	15,7	15,8	14,8	19,8	17,3	19,6	23,0	25,1	<b>20,9</b>
<b>2002</b>	25,7	24,7	24,8	19,7	17,9	12,3	12,6	15,9	16,4	20,9	21,5	22,8	<b>19,6</b>

#### 3.4.4 Métodos de laboratorio empleados para el análisis de suelos y acículas

Los análisis físicos de suelo fueron realizados en el Laboratorio de Ecología Aplicada del Departamento de Ciencias Forestales, ESALQ/USP, Piracicaba. Las muestras de tierra fina seca al aire fueron sometidas a análisis de composición granulométrica, densidad real y global según metodología presentada por EMBRAPA (36).

Las determinaciones químicas de suelo y acículas fueron realizadas en el mismo laboratorio ya mencionado. La determinación de pH, P disponible (extractor resina), Ca, Mg, K, Al, Zn, Cu, Fe, Mn, B y S intercambiables, H titulable, capacidad de intercambio

de cationes a pH 7,0 (T), saturación por bases (V) y por Al fueron realizadas según metodología presentada por Raij et al. (1987) en (38). El pH de las muestras de suelo fue determinado con potenciómetro, en una relación entre muestra y extractor ( $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ ) de 1:2,5; el pH en agua y en KCl también fueron determinados con la misma relación suelo:líquido. El carbono y el N total fueron determinados por combustión a seco (1050 °C), Nelson & Sommers (1982) en (38), en un aparato LECO CN 2000.

En las muestras de suelo, la materia orgánica fue determinada por oxidación con dicromato de potasio en ácido sulfúrico. El  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , y  $\text{K}^{+}$  intercambiables fueron extraídos con resina intercambiadora de iones; los primeros fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica y el  $\text{K}^{+}$  por fotometría de emisión de llama. El  $\text{Al}^{3+}$  intercambiabile fue obtenido por extracción con KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  y determinado por volumetría de neutralización, Raij & Quaggio, (1983) en (38). El  $\text{H}^{+} + \text{Al}^{3+}$  intercambiabile fue extraído con KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  y determinado por volumetría con solución diluida de NaOH, EMBRAPA (36); el P fue extraído por la resina intercambiadora de aniones y determinado por espectrofotómetro con transmisión máxima a 720 nm ó 885 nm, EMBRAPA (36) y el  $\text{S-SO}_4^{2-}$  fue extraído con fosfato monocálcico y determinado por turbidimetría, Cantarella & Prochnow, (2001) en (38). La CIC efectiva, la CIC potencial, la suma de bases, la saturación por bases, la saturación por Al y el  $\Delta$  pH fueron obtenidos a partir de los resultados analíticos.

Las concentraciones foliares de N fueron obtenidas por digestión sulfúrica seguida por determinación por el método micro-Kjeldahl según Malavolta et al., (1997) en (38). Las concentraciones de P, K, Ca y Mg de las acículas fueron obtenidas por digestión nitro-perclórica, siendo que P fue determinado por colorimetría, K por fotometría de llama, S por turbidimetría y los demás elementos por espectrofotometría de absorción atómica, Malavolta et al., (1997) en (38).

### 3.5 Análisis estadístico de las mediciones

Fue realizado análisis de variancia (ANOVA) para verificar la significancia estadística de los efectos de los tratamientos para los datos de crecimiento y sobrevivencia de los árboles y de las concentraciones foliares de nutrientes en las 5 ó 4 edades de medición de los ensayos con N y P, respectivamente. Los datos de crecimiento y sobrevivencia fueron calculados como promedios por parcela de las 25 plantas útiles. En los análisis de variancia se incluyó como covariancia el estado inicial de la plantación (la medición original) a los 9 y 7 meses de edad para los ensayos con N y P, respectivamente. Posteriormente se realizó el test de diferencia de medias para Tukey al 5% de probabilidad. Para todas las variables analizadas se realizó el test de homogeneidad de varianza mediante el test de Bartlett. Para los datos de sobrevivencia se realizó transformación de la variable para homogeneizar variancia según Storck (40). Es decir se usó el arcoseno de la raíz cuadrada de la sobrevivencia (expresada ésta en porcentaje). Se utilizaron los softwares MSTAT (Universidad de Michigan) y Statistica 6,0.

También fueron realizados análisis de regresión lineal simple y múltiple (tipo “forward selection”) para la elaboración de modelos que intenten explicar la relación entre el crecimiento de los árboles (altura, DAC e IP) y la sobrevivencia, versus las dosis aplicadas. Además mediante análisis de regresión se intentó encontrar modelos que explicaran la relación entre el crecimiento de los árboles (altura, DAC e IP) y sobrevivencia con respecto a la concentración foliar de nutrientes; y también se intentaron hallar modelos mediante análisis de regresión que relacionen la concentración foliar de nutrientes versus las dosis aplicadas vía fertilización.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS

### 4.1 Caracterización del suelo antes de la aplicación de los fertilizantes

Se observa en las Tablas 4.1 y 4.2 que se trata de suelos con más de 95% de arenas, muy pobres en materia orgánica y nutrientes, con muy bajos niveles de materia orgánica, Fósforo, Calcio y Potasio, como ya descripto en los Capítulos 2 y 3 (subcapítulos 2.2 y 3.1).

Tabla 4.1 Análisis físico del suelo (profundidad 0-20 cm) de las áreas experimentales<sup>(1)</sup>.

Sitio	Arena				Limo	Arcilla	Densidad <sup>(1)</sup>	
	Gruesa	Media	Fina	Total			Aparente	Real
Forestal	%						g cm <sup>-3</sup>	
1 <sup>(2)</sup>	2	35	60	97	2	1	1,5	2,3
2 <sup>(3)</sup>	1	63	33	98	1	1	1,5	2,3

<sup>(1)</sup> Realizada con muestras de suelo con estructura deformada, de acuerdo con la metodología propuesta por EMBRAPA, 1997;

<sup>(2)</sup> Área 1 representa mejor drenaje (lomada arenosa);

<sup>(3)</sup> Área 2 representa peor drenaje (planicie arenosa).

Tabla 4.2 Análisis químico del suelo (profundidad 0-20 cm) de las áreas experimentales<sup>(1)</sup>.

Sitio	pH <sup>(2)</sup>	M.O. <sup>(3)</sup>	P <sup>(4)</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB <sup>(5)</sup>	T <sup>(6)</sup>	V <sup>(7)</sup>	m <sup>(8)</sup>
Forestal	CaCl <sub>2</sub>											
		g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>				mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%
1 <sup>(9)</sup>	3,9	12	4	0,5	3	1	21	5	5	26	18	53
2 <sup>(10)</sup>	3,8	14	6	0,4	1	1	26	7	2	28	8	74

<sup>(1)</sup> Realizada de acuerdo a Raij et al.; 1987; <sup>(2)</sup> pH CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; <sup>(3)</sup> M.O. = materia orgánica;

<sup>(4)</sup> P extraído con resina; <sup>(5)</sup> SB = suma de bases intercambiables; <sup>(6)</sup> T = capacidad de intercambio catiónico a pH 7,0; <sup>(7)</sup> V = saturación por bases; <sup>(8)</sup> m = saturación por Al;

<sup>(9)</sup> Área 1 representa mejor drenaje (lomada arenosa);

<sup>(10)</sup> Área 2 representa peor drenaje (planicie arenosa).

## 4.2 Resultados de los análisis foliares y mediciones dendrométricas

### 4.2.1 Ensayo 3N-C1-PT-99

Se observa en la Tabla 4.3a y Figura 4.1 que hubo tendencia de mayor concentración de N en las acículas de las plantas de los tratamientos en que no fue aplicado fertilizante, siendo la concentración de N en las acículas de los tratamientos 1 y 2 no significativamente diferente de los demás tratamientos, salvo del tratamiento 9. Otra característica del análisis de los tenores de nutrientes en este ensayo, fueron los elevados tenores de B en los tratamientos en que este nutriente fue aplicado vía fertilización básica (tratamientos 2, 5, 7, 8 y 9). Esto explicaría el mejor crecimiento de las plantas del tratamiento 6, hasta los 21 meses post-plantación (Tabla 4.4), partiendo del presupuesto que las elevadas tasas de B de los otros tratamientos provocaron un efecto tóxico a las plantas, (41). El tratamiento 1, que no recibió B en la fertilización básica, presentó menor crecimiento con relación a los demás debido a la total ausencia de fertilizantes. La concentración de B en los tratamientos 1 y 6 es similar entre sí y significativamente diferente de los demás tratamientos, salvo del tratamiento 7. A su vez, las concentraciones de los demás nutrientes (salvo N y B), no registran diferencias significativas entre tratamientos.

A los 31 meses, Tabla 4.3b, se observa que las concentraciones de nutrientes en las acículas no presentan diferencias significativas, salvo para Boro, cuya concentración ha disminuido marcadamente en todos los tratamientos y no presenta diferencias significativas entre los tratamientos 1, 2, 5, 6, 8 y 10. Se observa además una marcada diferencia en las concentraciones de K de los 19 a los 31 meses, siendo esta última mucho menor en todos los tratamientos, según Figura 4.1, y ubicándose por debajo del límite inferior del rango ideal. A los 19 meses existe una tendencia a una menor concentración de este elemento en los tratamientos 1 y 2; sin embargo la diferencia con los demás tratamientos, en los que se aplicó K en la fertilización básica, no es significativa.

Tabla 4.3a Tenores de nutrientes de las acículas, ensayo 3N-C1-PT-99, a los 19 meses de edad.

Trata- miento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					
1	14,9 b	1,1 a	4,3 a	2,5 a	0,5 a	0,7 a	41 a	7 a	103 a	428 a	30 a
2	14,9 b	1,2 a	5,3 a	2,9 a	0,5 a	0,7 a	77 bc	7 a	106 a	473 a	32 a
5	13,7 ab	1,2 a	6,5 a	2,4 a	0,5 a	0,7 a	108 c	6 a	98 a	409 a	22 a
6	14,7 ab	1,4 a	5,9 a	2,8 a	0,5 a	0,8 a	36 a	6 a	108 a	544 a	25 a
7	14,1 ab	1,3 a	6,2 a	2,5 a	0,4 a	0,8 a	71 ab	6 a	114 a	452 a	20 a
8	14,1 ab	1,3 a	6,1 a	2,7 a	0,4 a	0,8 a	100 bc	6 a	106 a	494 a	23 a
9	13,0 a	1,2 a	6,0 a	2,5 a	0,5 a	0,7 a	110 c	6 a	99 a	446 a	21 a
F	3,86	0,83	2,20	1,37	0,23	0,70	17,09	2,30	0,49	0,95	3,38
CV (%)	4,4	16,7	14,8	11,1	23,8	16,0	16,3	11,2	12,8	17,3	16,5
DMS	1,7	0,6	2,4	0,8	0,3	0,3	35	2	38	224	11,5

Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.

Tabla 4.3b Tenores de nutrientes de las acículas, ensayo 3N-C1-PT-99, a los 31 meses de edad.

Trata- miento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>					mg kg <sup>-1</sup>					
1	13,5 a	1,1 a	1,4 a	2,8 ab	0,5 b	0,6 b	24,3 bc	9,7 a	108,3 a	1028 a	22,7 a
2	13,2 a	1,3 a	1,3 a	3,2 a	0,6 b	0,7 ab	32,0 abc	9,0 a	100,0 a	732 a	26,0 a
5	13,7 a	1,4 a	1,5 a	2,5 ab	0,6 ab	0,5 b	31,3 abc	7,3 a	101,0 a	594 ab	22,3 a
6	12,6 a	1,3 a	1,4 a	3,4 a	0,6 ab	0,5 b	20,7 c	10,7 a	107,7 a	770 a	23,7 a
7	13,6 a	1,2 a	1,3 a	3,1 a	0,6 ab	0,5 b	33,7 ab	8,3 a	87,3 a	710 a	22,0 a
8	13,3 a	1,3 a	1,5 a	3,0 ab	0,6 b	0,5 b	31,7 abc	9,7 a	102,0 a	685 a	22,7 a
9	14,2 a	1,3 a	1,4 a	2,7 ab	0,5 b	0,5 b	38,0 a	9,0 a	108,7 a	833 a	25,3 a
10	12,5 a	1,1 a	1,2 a	2,5 ab	0,5 b	0,4 b	27,0 abc	8,0 a	107,0 a	597 a	19,7 a
F	3,02	1,63	0,30	1,79	0,65	5,25	1,56	0,98	1,09	1,65	0,53
CV (%)	8,8	12,5	27,9	25,2	19,1	20,1	16,3	26,5	29,4	32,2	16,4
DMS	1,7	0,3	0,6	1,1	0,2	0,2	6,9	3,5	42,9	340	5,4

Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.



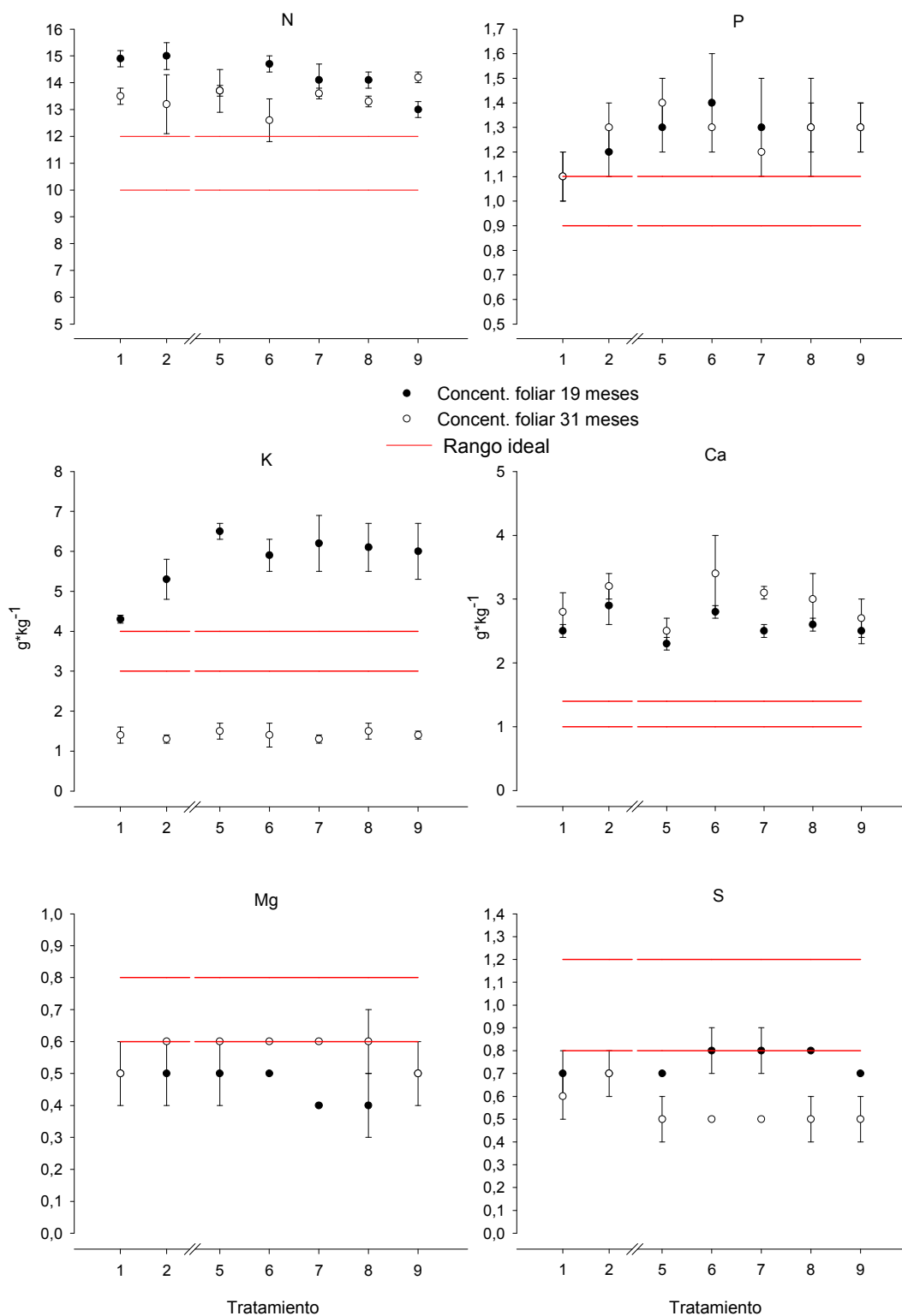
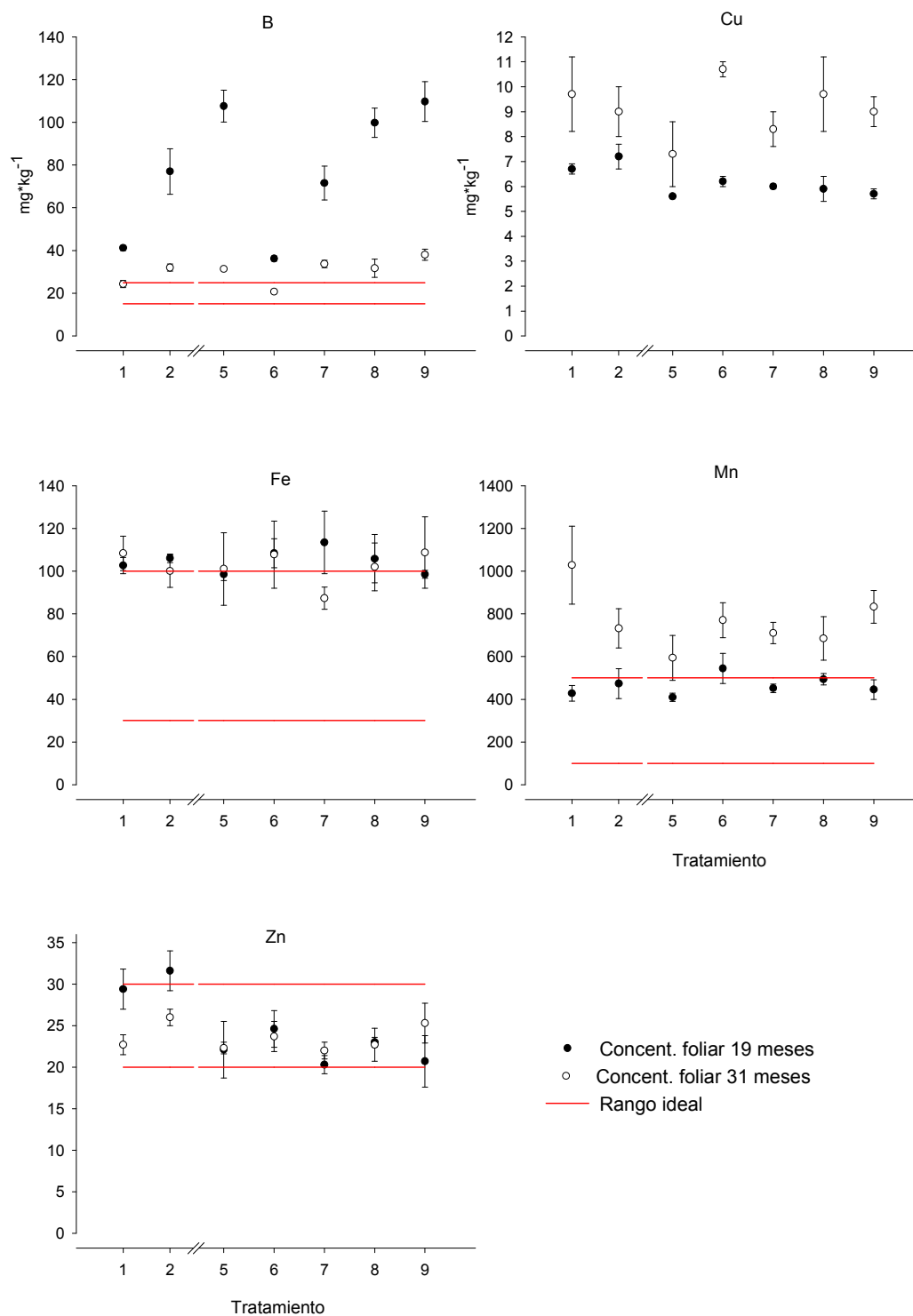


Figura 4.1 Tenores de nutrientes ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) en las acículas del ensayo 3N-C1-PT-99, a los 19 y 31 meses de edad, con barras verticales indicando desvío estándar de la media. En líneas rojas, el rango ideal según la literatura.



Cont. Figura 4.1 Concentración foliar en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Para Cu no se ha hallado rango ideal en la literatura.

En la Tabla 4.4 se observa que existe diferencia significativa de crecimiento para las variables DAC y ALT del tratamiento 6 (de mejor desempeño) entre los 15 y los 21 meses con respecto a los tratamientos 7, 10, 1, 3, y 5; no se diferencia, sin embargo, del tratamiento 2 que incluye solamente fertilización básica. La mencionada diferencia disminuye hasta hacerse no significativa a los 33 y 47 meses, salvo para los tratamientos 1 y 5 de los cuales se separa significativamente. La diferencia estadística del tratamiento 6 con los demás se hace más marcada en la variable IP y DCM, inclusive hasta los 33 meses de edad. La diferencia más acentuada se establece entre los tratamientos 6 y 4 respecto de 10, 3, 5 y 1. Existe a los 15 meses una depresión en el crecimiento, dada por el tratamiento 5, siendo que el testigo creció 7% más en la variable IP.

En la variable IP, el tratamiento 6 a los 47 meses de edad es 29,7% mayor que el tratamiento 1, siendo que para DAP, ALT y DCM la diferencia es de entre 8,9 y hasta 10,0%. En la misma variable, el tratamiento 6 se separa de los que le siguen (trat. 8 y 7) en 6,4 y hasta 8,9%, respectivamente, siendo la diferencia mencionada no significativa.

A su vez, la sobrevivencia no registra diferencias estadísticas entre tratamientos, apenas se observa una mejor sobrevivencia (de hasta 100%) para el tratamiento 2 (fertilización básica), a los 15 y 21 meses. Los valores más bajos corresponden a los tratamientos 10, 3, 4 y 5, con sobrevivencia de entre 95,5 y 91,8%.

Se observa además, que el coeficiente de variación (CV %) de las mediciones dendrométricas se ubica en valores adecuados para el tipo de experimento aquí presentado (entre 23,4 a 15,1%), y el mismo disminuye en el tiempo con cada medición, lo cual es lo deseable, según vemos en Tabla 4.4. Tendencia que no se cumple, lógicamente, con el IP ya que es una medida compuesta obtenida involucrando a otras dos variables. Para el análisis de concentraciones foliares de nutrientes se observa que el CV % es menor en general a los 19 meses (con valores entre 4,4 y 23,8%), Tabla 4.3a, y aumenta en el análisis de los 33 meses, Tabla 4.3b, con valores de 8,8 a 32,2%.

Tabla 4.4 Análisis del diámetro del cuello (DAC), altura (ALT), diámetro medio de la copa (DCM), IP (índice de productividad) y sobrevivencia del ensayo 3N-C1-PT-99, a los 15, 21, 33 y 47 meses de edad.

DAC (cm)															
Trat 15 meses			Trat 21 meses			Trat 33 meses			Trat 47 meses**						
4	3,4	a	6	7,3	a	6	12,6	a	6	12,1	a				
6	3,3	a b	4	7,2	a b	9	12,1	a b	8	11,8	a b				
2	3,2	a b c	9	7,1	a b c	4	12,1	a b	7	11,8	a b				
8	3,2	a b c	8	7,0	a b c	8	12,1	a b	2	11,7	a b c				
9	3,2	a b c d	2	7,0	a b c d	2	12,0	a b	4	11,6	a b c				
7	3,2	b c d	7	6,9	b c d e	7	12,0	a b c	9	11,5	a b c				
10	3,1	c d e	10	6,8	c d e	10	11,8	a b c d	10	11,4	a b c				
1	3,1	d e	3	6,7	d e	3	11,4	b c d	3	11,3	a b c				
3	3,0	d e	5	6,7	d e	1	11,2	c d	1	11,0	b c				
5	3,0	e	1	6,6	e	5	11,0	d	5	10,9	c				
covar dac9			covar dac9												
CV %	23,4		15,0			17,4			16,9						
F(9,864)=1.67; p<.0916			F(9,866)=2.80; p<.0031			F(9,897)=6.83; p<.0000			F(9,901)=4.19; p<.0000						
												**DAP (cm)			
ALT (m)															
Trat 15 meses			Trat 21 meses			Trat 33 meses			Trat 47 meses						
6	1,32	a	6	2,42	a	6	4,38	a	6	5,88	a				
4	1,30	a b	8	2,39	a b	8	4,29	a b	8	5,78	a b				
8	1,29	a b c	4	2,38	a b	2	4,26	a b	9	5,73	a b				
9	1,27	a b c d	2	2,35	a b c	9	4,22	a b c	2	5,72	a b				
2	1,27	a b c d e	9	2,32	a b c	7	4,20	a b c	7	5,69	a b c				
1	1,24	b c d e	7	2,29	b c	4	4,18	a b c	4	5,63	a b c d				
7	1,23	c d e	3	2,26	b c d	10	4,10	a b c d	3	5,62	a b c d				
10	1,22	d e f	10	2,22	c d	3	4,06	b c d	10	5,50	b c d				
3	1,21	e f	5	2,15	d	1	3,97	c d	1	5,37	c d				
5	1,16	f	1	2,15	d	5	3,82	d	5	5,29	d				
covar alt9			covar alt9												
CV %	21,6		18,5			17,1			15,1						
F(9,867)=2.82; p<.0028			F(9,867)=6.26; p<.0000			F(9,897)=7.06; p<.0000			F(9,901)=5.43; p<.0000						
IP (dm3)															
Trat 15 meses			Trat 21 meses			Trat 33 meses			Trat 47 meses						
4	1,60	a	6	13,3	a	6	71,9	a	6	89,8	a				
6	1,59	a	4	13,0	a	9	67,8	a b	8	84,4	a b				
8	1,54	a	8	12,5	a b	4	66,3	a b	7	82,4	a b c				
9	1,47	a b	9	12,3	a b c	8	65,9	a b	9	82,0	a b c				
2	1,45	a b	2	12,0	a b c	2	64,8	a b	2	81,3	a b c				
7	1,41	a b c	7	11,5	b c d	7	63,4	a b c	4	81,1	a b c				
10	1,33	b c	10	11,0	c d	10	60,6	b c d	3	77,7	a b c				
1	1,32	b c	3	10,9	c d	3	57,6	b c d	10	75,9	b c				
3	1,30	b c	5	10,5	d	1	53,0	c d	1	69,2	c				
5	1,23	c	1	10,2	d	5	51,5	d	5	69,1	c				
covar ip9			covar ip9												
CV %	61,1		41,9			43,2			40,9						
F(9,867)=1.65; p<.0973			F(9,867)=3.66; p<.0002			F(9,897)=7.49; p<.0000			F(9,901)=4.64; p<.0000						

\* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.

F(grados de libertad; casos observados); p: nivel de probabilidad

Los desvíos estándar de las medias de tratamientos para las variables DAC y ALT se observan en la Figura 4.2

Continuación Tabla 4.4

DCM (m)											
Trat 15 meses			Trat 21 meses			Trat 33 meses			Trat 47 meses		
6	0,77	a	6	1,46	a	6	2,56	a	-	-	
2	0,77	a	4	1,44	a b	2	2,48	a b	-	-	
4	0,77	a	2	1,43	a b	8	2,45	a b c	-	-	
8	0,75	a b	8	1,43	a b	7	2,42	a b c	-	-	
1	0,74	a b	9	1,42	a b	9	2,41	a b c	-	-	
9	0,74	a b	7	1,41	a b c	4	2,40	a b c	-	-	
7	0,73	b	3	1,37	b c d	10	2,36	b c d	-	-	
3	0,72	b	10	1,35	c d	1	2,35	b c d	-	-	
10	0,72	b	1	1,34	d	3	2,29	c d	-	-	
5	0,67	c	5	1,31	d	5	2,19	d	-	-	
covar dcm9			covar dcm9								
CV %	19,9		16,5			18,8					
F(9,867)=4.73; p<.0000			F(9,867)=4.18; p<.0000			F(9,897)=6.79; p<.0000					
Sobrevivencia (%)											
Trat 15 meses			Trat 21 meses			Trat 33 meses			Trat 47 meses		
2	100,0	a	2	100,0	a	1	100,0	a	1	100,0	a
1	99,7	a	7	99,5	a	5	100,0	a	2	100,0	a
9	99,7	a	9	98,4	a	7	100,0	a	3	100,0	a
7	99,7	a	6	97,7	a	8	100,0	a	4	100,0	a
4	99,0	a	8	97,7	a	9	100,0	a	5	100,0	a
6	99,0	a	1	96,4	a	4	99,7	a	6	100,0	a
5	98,9	a	10	95,5	a	6	99,7	a	7	100,0	a
8	98,5	a	4	93,7	a	10	99,7	a	8	100,0	a
3	97,4	a	3	92,8	a	3	99,5	a	9	100,0	a
10	95,5	a	5	91,8	a	2	98,6	a	10	100,0	a
CV %	4,3		5,5			3,7			0,0		
F(9,39)=0.98; p<.4699			F(9,39)=1.37; p<.2464			F(9,39)=0.62; p<.7667			F(9,39)=1.05; p<.4263		
* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.											
F(grados de libertad: casos observados); p: nivel de probabilidad											

\* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.

F(grados de libertad; casos observados); p: nivel de probabilidad

La sobrevivencia se ha calculado entre períodos sucesivos de medición (a los 47 meses en relación a los 33 meses y así sucesivamente). Se observa que la misma aumenta con la edad, lo cual es así si asumimos que es una medición relativa.

Como resumen de los valores extremos observados, la Tabla 4.4 y Figura 4.2 muestran que el tratamiento de mayor crecimiento en DAC registra como promedio 3,4; 7,3; 12,6 y 12,1 cm (DAP) para la medición a los 15, 21, 33 y 47 meses respectivamente; versus 3,0; 6,6; 11,0 y 10,9 cm para el de menor crecimiento. Asimismo, la misma comparación para la variable ALT muestra 1,32; 2,42; 4,38 y 5,88 m de altura promedio para el tratamiento de mayor crecimiento, y 1,16; 2,15; 3,82 y 5,29 m para el de menor crecimiento respectivamente.

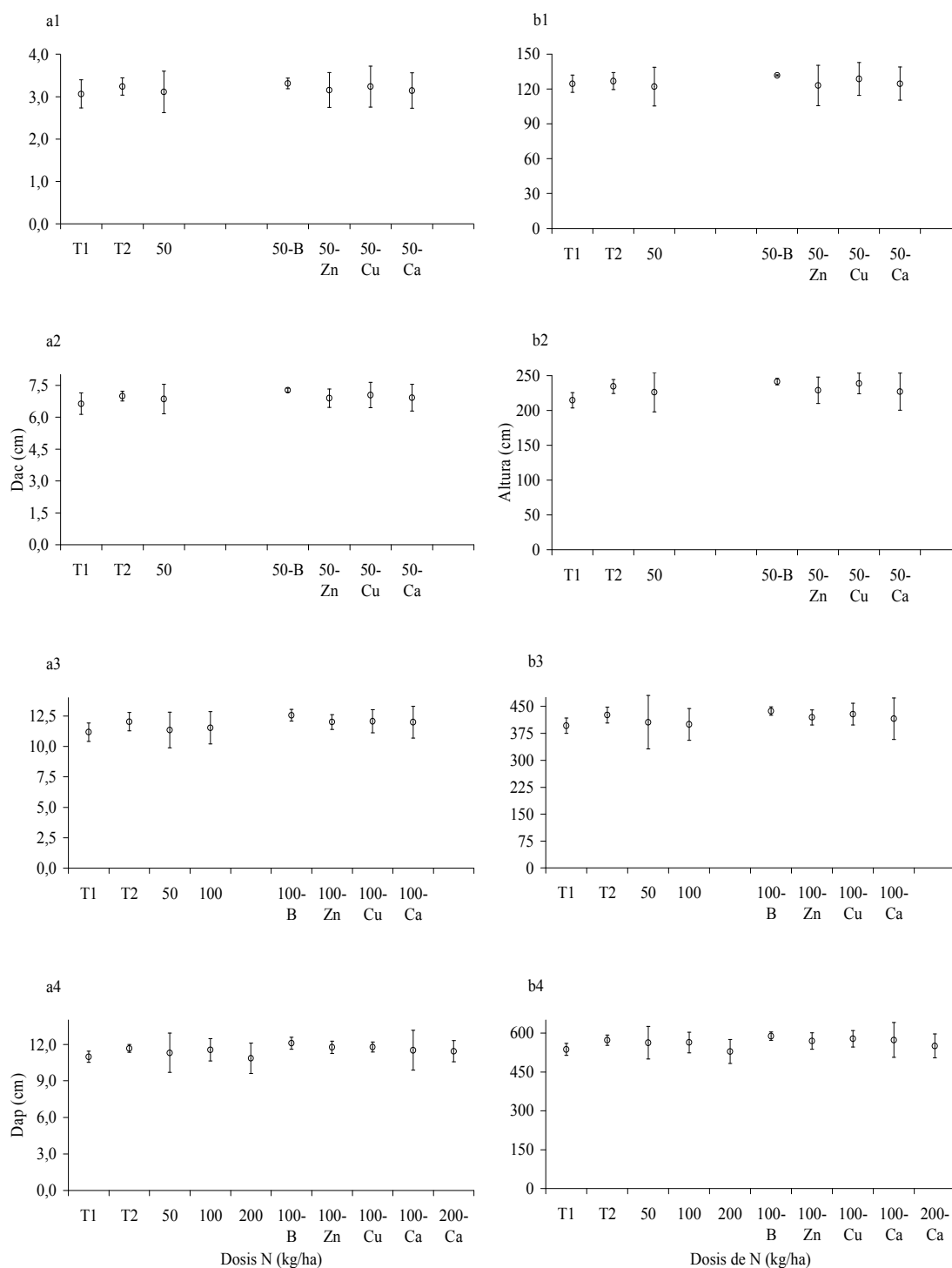


Figura 4.2 Diámetro a la altura del cuello (DAC) (a) y Altura (b) y de las plantas a los quince (1), veintiún (2), treinta y tres (3) y cuarenta y siete meses (4) para los diferentes tratamientos; barras verticales indican desvío estándar de la media, para el ensayo 3N-C1-PT-99. Notar que, por ejemplo, 100-B significa 100 kg/ha de N menos B (Boro) y así sucesivamente.

La regresión del arco seno de la raíz cuadrada de la sobrevivencia a los 15 y 21 meses versus las dosis de fertilizante aplicados a los 15 meses no presentó un modelo significativo, salvo una tendencia, sin ser significativa, de relacionar en forma inversa a la sobrevivencia con la dosis de N aplicada y por otro lado una relación directa de la sobrevivencia con la dosis de K aplicada. Cuando se incluye en el modelo solamente a los tratamientos 1 a 5 se halla que la dosis de N aplicada a los 15 meses se continúa relacionando en forma inversa con la sobrevivencia y la dosis de B aplicada a los 15 meses aparece en el modelo relacionada en forma directa con la sobrevivencia, contrarrestando la acción de N.

Tabla 4.5 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 21 meses con las dosis de macronutrientes aplicados a los 15 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
$\text{sob21} = \text{seno}((78,995 - 0,31183 \cdot \mathbf{N15} + 5,5025 \cdot \mathbf{B15}) / 180 \cdot \pi())^2 \cdot 100$	40,3	< 0,01
N15		0,001292
B15		0,040534

Al relacionar la sobrevivencia con la concentración foliar de nutrientes, se observan modelos de regresión significativos para la sobrevivencia al mes 21 que vinculan en forma directa a ésta con la concentración de Fe foliar a los 19 meses. La asociación obtiene un ajuste más alto (de hasta 47,3 % de R<sup>2</sup> ajustado) cuando se incluyen en el modelo solamente a los tratamientos 1, 2 y 5. Dónde Fe19f, es la concentración de Fe (en mg kg<sup>-1</sup>) en las acículas al mes 19.

Tabla 4.6 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 21 meses con la concentración foliar a los 19 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
$\text{sob21} = \text{seno}((-36.6434 + 1.13600 \cdot \mathbf{Fe19f}) / 180 \cdot \pi())^2 \cdot 100$	47,3	< 0,01
Fe19f		0,024216

El análisis de regresión de la variable ALT con las dosis de fertilizantes aplicados halla un modelo significativo que relaciona la diferencia (incremento) de altura entre los

meses 15 y 21 con la dosis de P aplicado a los 15 meses, cuando solamente se incluyen los tratamientos 1 a 5. El grado de ajuste desciende marcadamente cuando se incorporan todos los tratamientos al análisis, pero en este caso el modelo incorpora la dosis de Ca aplicada al mes 12, aunque su coeficiente no es estadísticamente significativo. Dónde ALT21-15 es la diferencia de altura entre esas dos edades y P15 la dosis de Fósforo acumulada hasta esa edad.

Tabla 4.7 Ecuación de regresión múltiple que relaciona el incremento en altura entre los 21 y 15 meses con la dosis de macronutrientes aplicados y acumulados hasta los 15 meses

Ecuación	R <sup>2</sup> ajust.	Signific.
alt21-15 = 89,9657+0,1703* <b>P15</b>	37,4	< 0,01
P15		0,009109

En el intento de explicar cuáles nutrientes hallados en las acículas, según análisis de laboratorio a los 19 meses, tienen relación con el incremento en altura de las plantas, se halló un modelo significativo. Este relaciona en forma directa el incremento en altura entre los meses 15 y 21 con el contenido foliar de S, Mn, K, Cu, y B y en forma inversa con el contenido de Zn, siendo los coeficientes de Mn, Cu y Zn significativos y el resto no significativos.

Tabla 4.8 Ecuación de regresión múltiple que relaciona el incremento en altura entre los 21 y 15 meses con el contenido foliar de S, Mn, K, Cu, y B y Zn

Ecuación	R <sup>2</sup> ajust.	Signific.
alt21-15 = -22,6151 + 19,6262 * <b>S19f</b> + 0,0851 * <b>Mn19f</b> + 4,0924 * <b>K19f</b> + 9,9298 * <b>Cu19f</b> - 0,8583 * <b>Zn19f</b> + 0,1100 * <b>B19f</b>	62,7	< 0,01
S19f		0,389846
Mn19f		0,001377
K19f		0,056337
Cu19f		0,002941
Zn19f		0,039057
B19f		0,101449



Al relacionar las concentraciones foliares de nutrientes a los 19 meses con las dosis de fertilizantes aplicadas hasta los 15 meses se han hallado algunos modelos significativos, por ejemplo para Boro y para Nitrógeno.

Tabla 4.9 Ecuación de regresión múltiple que relaciona las concentraciones foliares de nutrientes a los 19 meses con las dosis de fertilizantes aplicadas hasta los 15 meses

Ecuación	R <sup>2</sup> ajust.	Signific.
$B19f = 41,18667 + 33,76000 * B15 - 0,00605 * Ca12 + 16,04000 * Zn15 + 0,53307 * N15 - 0,57693 * P15$	83,6	< 0,01
B15		0,000001
Ca12		0,500082
Zn15		0,002311
N15		0,008223
P15		0,019423

Siendo que el coeficiente de la dosis de Ca aplicada a los 12 meses (Ca12) no es significativa estadísticamente para el modelo.

La concentración foliar de N a los 19 meses se relaciona con N15 y B15 en forma negativa y Ca12 en forma positiva, siendo todos los coeficientes significativos al nivel de confianza de 1 y 5%.

Tabla 4.10 Ecuación de regresión múltiple que relaciona las concentraciones foliares de nutrientes a los 19 meses con las dosis de fertilizantes aplicadas hasta los 15 meses

Ecuación	R <sup>2</sup> ajust.	Signific.
$N19f = 14,84000 - 0,02091 * N15 + 0,00091 * Ca12 - 0,37800 * B15$	51,1	< 0,01
N15		0,003675
Ca12		0,009066
B15		0,026272

### 4.2.2 Ensayo 3P-C1-PT-99

Se observa que a pesar de no haber diferencia entre los tratamientos en cuanto a los tenores de nutrientes en las acículas, hubo tendencia de una menor concentración de nutrientes en las plantas del tratamiento 5 (Tabla 4.11a y Figura 4.3). Esto puede ser explicado por la tendencia del mayor crecimiento de las plantas en este tratamiento (principalmente cuando se observa la ALT) (Tabla 4.12), lo que acarrearía mayor demanda de nutrientes (dilución). La sobrevivencia inicial de las plantas muestra que hubo efecto tóxico de la fertilización, acarreando tasas de mortalidad más elevadas en los tratamientos fertilizados (Tabla 4.12). Esto es particularmente evidente en la medición de los 14 meses, en donde el tratamiento 1 presenta 13 puntos porcentuales más de sobrevivencia que el tratamiento 6 que le sigue, y 29,7 puntos más que el tratamiento 2 de mayor mortandad, siendo esta diferencia estadísticamente significativa para los tratamientos 1 y 6 respecto de los demás. El B puede haber provocado este efecto tóxico según relatado en algunos trabajos, (41), como puede ser observado por los altos tenores de este nutriente en la Tabla 4.11a. El tratamiento 1 presentó menor crecimiento con relación a los demás debido a la ausencia total de fertilizantes. Salvo el Boro y el Hierro (Fe), los demás nutrientes no registran diferencias significativas en la concentración foliar entre tratamientos a los 19 meses de edad (Tabla 4.3a).

A los 28 meses, Tabla 4.11b, se observa que las concentraciones de nutrientes en las acículas no presentan diferencias significativas entre tratamientos. La concentración foliar de Boro disminuye a su vez en todos los tratamientos, ubicándose dentro del rango ideal (Figura 4.3). Se observa que el CV% de los análisis de nutrientes en acículas arroja en general menores valores (y más homogéneos entre sí) a los 19 que los 28 meses. Siendo que a los 19 meses el CV% se halla entre 38,7 y 16,0%, en tanto para los 28 meses se observan valores de 10,9 hasta 82,2%.

Tabla 4.11a Tenores de nutrientes en acículas, para el ensayo 3P-C1-PT-99, a los 19 meses de edad.

Trata- miento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
1	14,5 a	1,1 a	3,1 a	2,4 a	0,5 a	0,6 a	39 a	7 a	119 b	367 a	21 a
2	14,3 a	1,0 a	5,1 a	2,2 a	0,4 a	0,7 a	94 ab	7 a	96 ab	436 a	22 a
5	14,5 a	0,9 a	3,7 a	1,8 a	0,4 a	0,5 a	136 b	5 a	75 a	358 a	14 a
6	18,5 a	1,2 a	6,1 a	2,6 a	0,5 a	0,7 a	135 b	7 a	105 ab	502 a	23 a
7	14,5 a	1,3 a	5,7 a	2,6 a	0,5 a	0,7 a	117 b	7 a	99 ab	508 a	18 a
F	0,63	1,31	1,44	1,91	1,64	1,89	7,76	1,58	2,99	2,18	2,20
CV (%)	25,7	17,6	38,7	19,4	15,7	18,7	24,1	17,1	16,0	19,3	21,4
DMS	10,6	0,5	4,9	1,2	0,18	0,3	68	2,9	42,7	226	11,3

Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.

Tabla 4.11b Tenores de nutrientes en acículas, para el ensayo 3P-C1-PT-99, a los 28 meses de edad.

Trata- miento	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
1	14,0 a	1,3 a	3,5 ab	1,9 a	0,5 a	0,5 a	16,7 a	4,7 a	67,0 a	536 a	24,3 a
2	13,5 a	1,2 a	4,5 ab	2,0 a	0,5 a	0,5 a	21,7 a	5,3 a	123,3 a	474 a	26,3 a
5	13,7 a	1,7 a	5,5 a	2,0 a	0,6 a	0,5 a	23,7 a	4,7 a	60,0 a	414 a	26,0 a
6	13,8 a	1,6 a	5,2 a	1,6 a	0,5 a	0,6 a	23,0 a	7,0 a	65,7 a	349 a	22,0 a
7	13,4 a	1,5 a	5,6 a	1,9 a	0,5 a	0,4 a	24,0 a	4,0 a	58,7 a	500 a	22,3 a
F	0,48	0,61	0,14	1,90	1,43	0,5	0,98	0,67	1,64	1,24	0,18
CV (%)	12,8	19,9	28,5	36,5	10,9	28,2	23,2	57,5	82,2	58,8	28,4
DMS	2,5	0,5	2,1	1,2	0,1	0,4	7,3	4,5	88,1	380,7	9,9

Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.

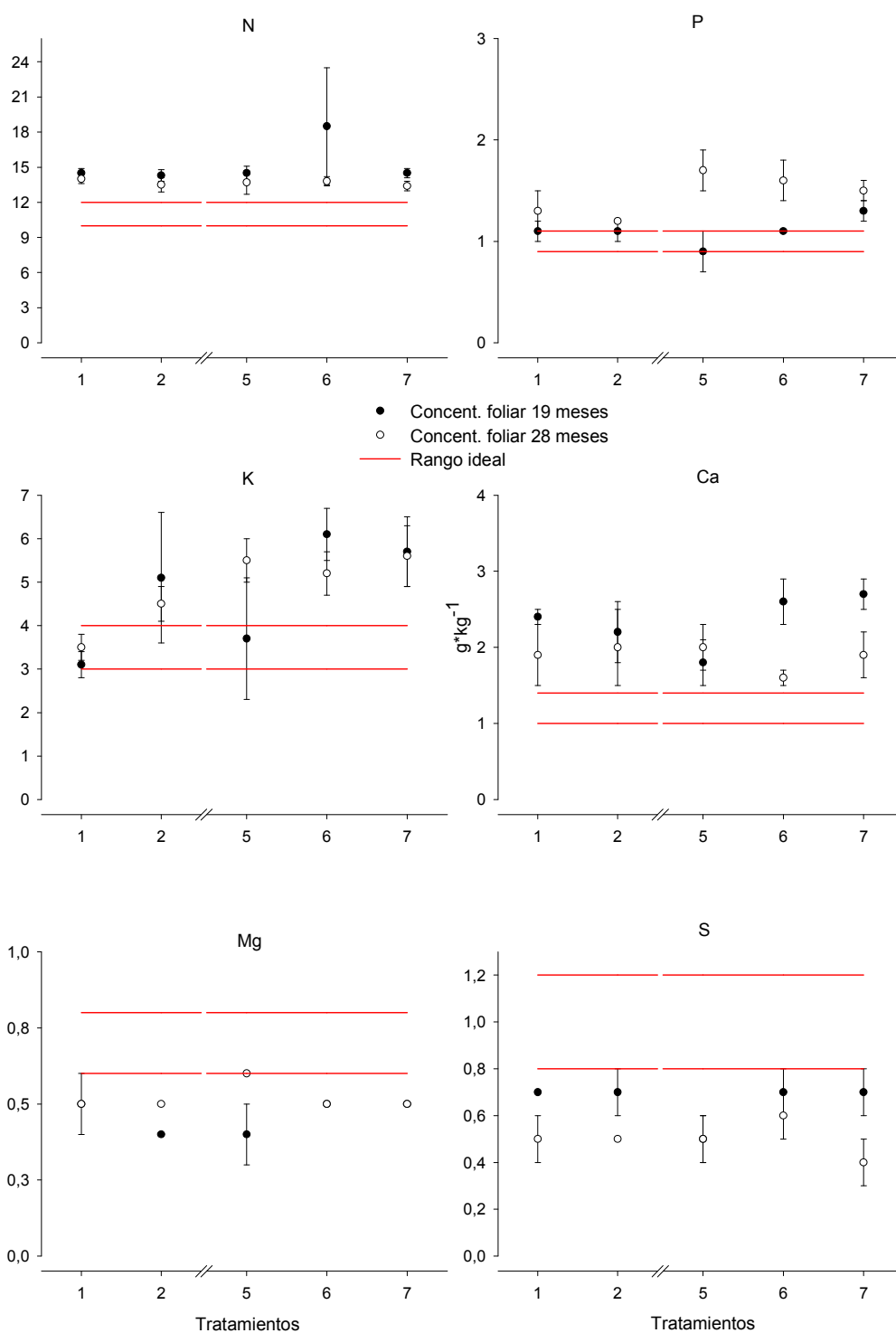
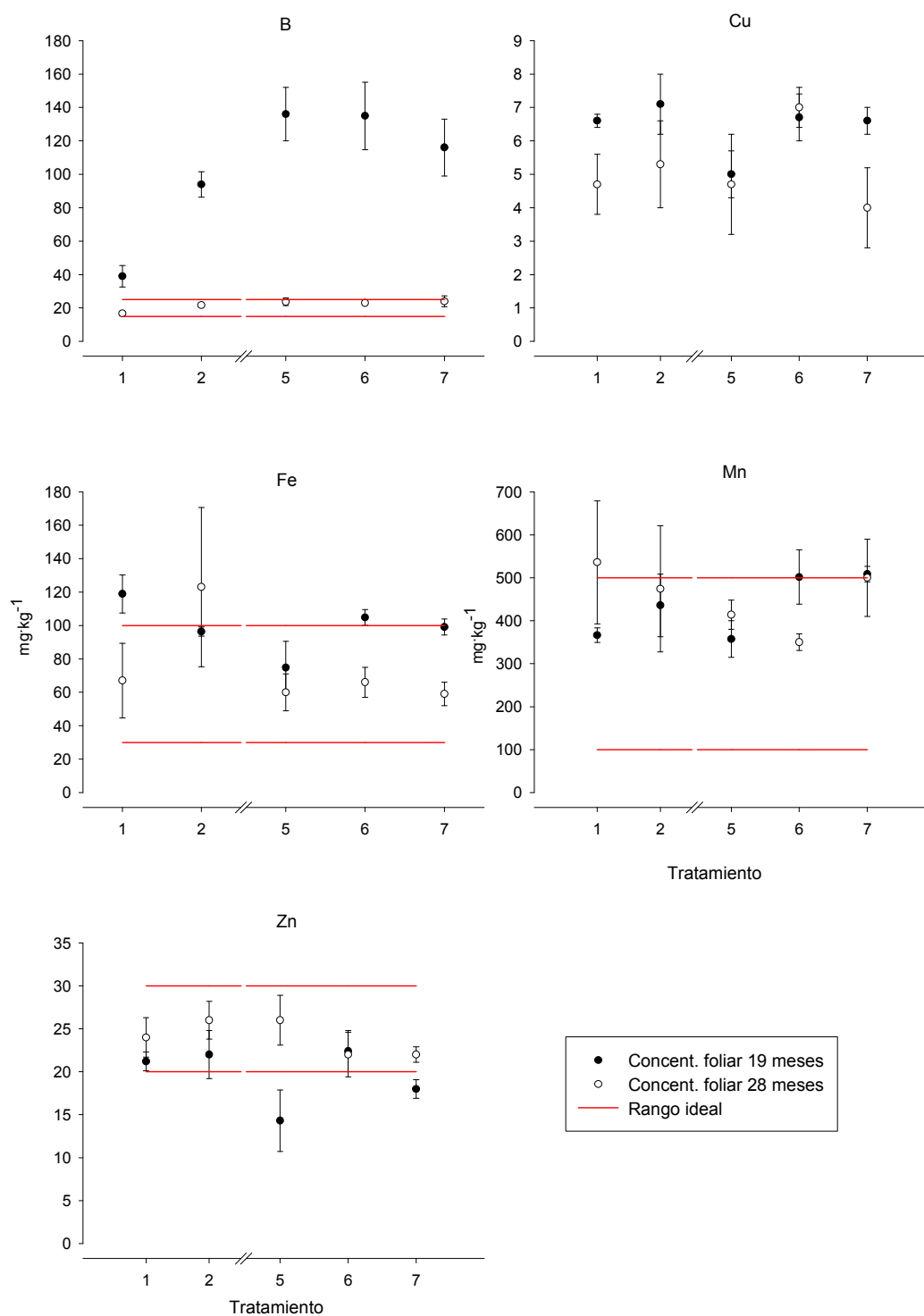


Figura 4.3 Tenores de nutrientes ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en las acículas del ensayo 3P-C1-PT-99, a los 19 y 28 meses de edad, con barras verticales indicando desvío estándar de la media. En líneas rojas, el rango ideal según la literatura.



Cont. Figura 4.3. Concentración foliar en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Para Cu no se ha hallado rango ideal en la literatura.

En la Tabla 4.12 se observa que existe una tendencia a la superioridad en crecimiento, para todas las variables, de los tratamientos 5 y 4, siendo que esta diferencia es estadísticamente significativa solamente a los 14 meses. A los 33 meses para la variable IP el tratamiento 5 (y todos los restantes) se diferencian significativamente solamente del tratamiento 1. El tratamiento 5 mostró un crecimiento 15% superior al tratamiento 1 a los 33 meses en la variable IP. En las variables DAC y ALT a los 33 meses, el tratamiento 5 es 7,7 y 6,0% superior, siendo esa diferencia estadísticamente no significativa. Similar resultado muestra la variable DCM, salvo en la edad 14 meses en donde para esta variable se evidencia la superioridad de los tratamientos 2 y 5 que se diferencian significativamente de los demás tratamientos con un diámetro de copa 5% mayor en promedio.

La supervivencia registra su mayor diferencia entre tratamientos en la edad 14 meses como ya descrito arriba. En la medición de los 19 meses el tratamiento 1 se diferencia del resto, si bien de manera estadísticamente no significativa, con una supervivencia de 8,2 y hasta 10,2 puntos superior. A los 33 meses no se registran diferencias estadísticamente significativas, para la variable supervivencia, entre los tratamientos ensayados.

Para el CV % de las variables en las distintas edades de medición se puede mencionar similar resultado al del ensayo anterior, con valores que van desde 21,9 y hasta 13,8%, para las variables DAC y ALT respectivamente, y disminuyendo en el tiempo.

Tabla 4.12 Análisis del diámetro del cuello (DAC), altura (ALT), diámetro medio de la copa (DCM), IP (índice de productividad) y sobrevivencia del ensayo 3P-C1-PT-99, a los 7, 14, 19 y 33 meses de edad.

Ensayo 3P-C1-PT-99

DAC (cm)											
Tratamiento	7 meses	*	Trat	14 meses		Trat	19 meses		Trat	33 meses	
2	1,7	a	5	3,2	a	4	5,8	a	5	12,5	a
5	1,6	a	2	3,1	a b	5	5,8	a	4	12,3	a b
1	1,6	a	7	3,1	a b	7	5,7	a	7	12,2	a b
3	1,6	a	4	3,0	a b	6	5,7	a	2	12,2	a b
7	1,5	a	3	3,0	a b	1	5,6	a	6	12,0	a b
4	1,5	a	6	3,0	b	2	5,6	a	3	11,9	a b
6	1,5	a	1	2,9	b	3	5,6	a	1	11,6	b
			covar dac7			covar dac7					
CV %	21,9		19,3			14,6			14,8		
F(6,518)=1.10; p<0.3632			F(6,517)=2.79; p<0.0111			F(6,517)=3.09; p<0.0055			F(6,526)=2.24; p<0.0383		
ALT (m)											
Tratamiento	7 meses	*	Trat	14 meses		Trat	19 meses		Trat	33 meses	
5	0,74	a	5	0,94	a	5	2,17	a	5	4,22	a
2	0,74	a	1	0,92	a b	4	2,14	a b	4	4,15	a
4	0,72	a	2	0,91	a b	7	2,10	a b	7	4,15	a
3	0,72	a	4	0,91	a b	6	2,09	a b	3	4,13	a
6	0,70	a	3	0,91	a b	3	2,08	a b	2	4,12	a
7	0,70	a	6	0,90	a b	2	2,06	a b	6	4,06	a
1	0,70	a	7	0,88	b	1	2,03	b	1	3,98	a
			covar alt7			covar alt7					
CV %	18,3		20,4			15,9			13,8		
F(6,518)=1.39; p<0.2148			F(6,517)=2.55; p<0.0194			F(6,517)=1.70; p<0.1186			F(6,526)=1.65; p<0.1301		
IP (dm3)											
Tratamiento	7 meses	*	Trat	14 meses		Trat	19 meses		Trat	33 meses	
2	0,215	a	5	1,02	a	5	7,72	a	5	24,5	a
5	0,201	a	2	0,92	a b	4	7,53	a	4	23,9	a b
1	0,194	a	7	0,90	a b	7	7,06	a	7	23,6	a b
7	0,188	a	3	0,90	a b	6	7,04	a	2	23,2	a b
3	0,188	a	4	0,89	a b	3	6,97	a	6	22,9	a b
4	0,186	a	1	0,89	b	2	6,82	a	3	22,4	a b
6	0,183	a	6	0,87	b	1	6,81	a	1	21,3	b
			covar ip7			covar ip7					
CV %	52,3		49,6			37,7			26,5		
F(6,518)=0.88; p<0.5069			F(6,517)=2.03; p<0.0604			F(6,517)=3.52; p<0.0020			F(6,526)=2.53; p<0.0200		

\* Letras diferentes evidencian diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de medias según Tukey al 95% de probabilidad.

F(grados de libertad; casos observados); p: nivel de probabilidad

Los desvíos estándar de las medias de tratamientos para las variables DAC y ALT se observan en la Figura 4.4.

## Continuación Tabla 4.12

Ensayo 3P-C1-PT-99

			DCM (m)								
Tratamiento	7 meses	*	Trat	14 meses		Trat	19 meses		Trat	33 meses	
2	0,54	a	2	0,60	a	5	1,37	a	7	2,51	a
5	0,53	a	5	0,59	a b	7	1,36	a	5	2,51	a
4	0,52	a	7	0,58	b c	4	1,36	a	2	2,49	a
7	0,51	a	3	0,57	b c	2	1,35	a	3	2,47	a
3	0,51	a	4	0,57	b c	1	1,33	a	4	2,43	a
6	0,51	a	1	0,57	c	3	1,33	a	6	2,42	a
1	0,50	a	6	0,57	c	6	1,32	a	1	2,37	a
			covar dcm7			covar dcm7					
CV %	17,2		16,2			14,3			15,4		
F(6,518)=2.00; p<0.0641			F(6,517)=1.19; p<0.3094			F(6,517)=0.83; p<0.5450			F(6,526)=1.75; p<0.1078		
Sobrevivencia (%)											
Tratamiento	7 meses	*	Trat	14 meses		Trat	19 meses		Trat	33 meses	
3	98,0	a	1	99,0	a	1	100,0	a	1	100,0	a
6	98,0	a	6	86,0	a b	5	91,8	a	5	100,0	a
4	96,8	a	5	80,8	b	4	91,8	a	3	100,0	a
5	96,8	a	3	78,0	b	6	91,0	a	4	99,0	a b
1	96,0	a	4	77,0	b	7	91,0	a	6	99,0	a b
7	96,0	a	7	76,5	b	3	90,0	a	2	98,0	a b
2	95,0	a	2	69,3	b	2	89,8	a	7	97,0	b
CV %	3,7		9,7			7,4			2,0		



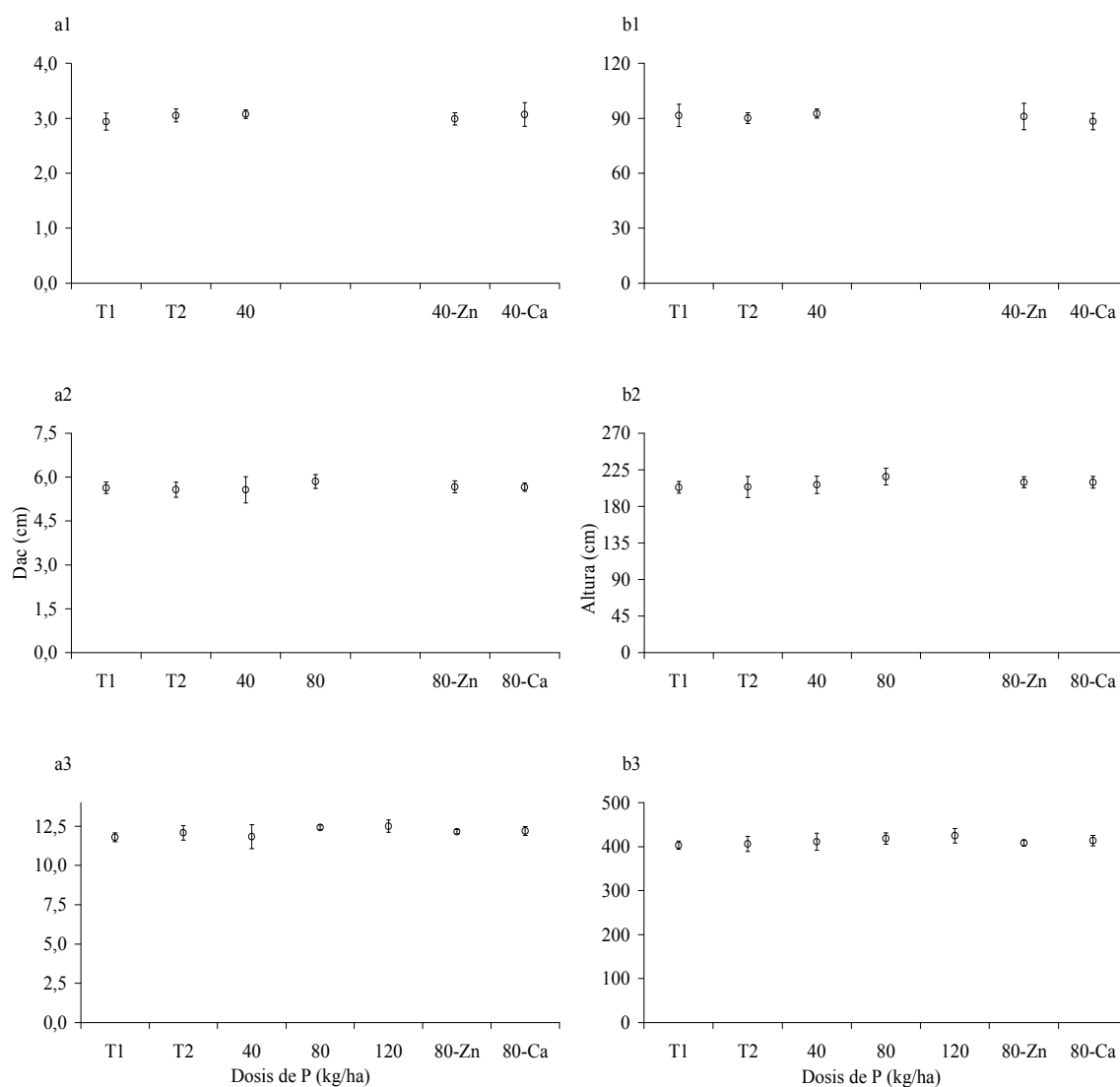


Figura 4.4 Diámetro a la altura del cuello (DAC) (a) y Altura (b) y de las plantas a los catorce (1), diecinueve (2) y treinta y tres (3) meses para los diferentes tratamientos; barras verticales indican desvío estándar de la media, para el ensayo 3P-C1-PT-99. Notar que, por ejemplo, 80-Zn significa 80 kg/ha de P menos Zn (Zinc) y así sucesivamente.

La regresión de la sobrevivencia (expresada en porcentaje) a los 14 meses versus las variables P7, N7, K7, Ca12, B9, Zn7, Cu7, Fe7, Mn7, N7xP7, N7xP7xK7, N7xK7, siendo P7 la dosis de Fósforo aplicada al mes 7, etc., muestra un modelo significativo para la interacción N7xK7 la cual se relaciona en forma inversa con la sobrevivencia.

Tabla 4.13 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 14 meses con las dosis de nutrientes aplicadas de los 7 a los 12 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
sob14 = 0,989583 - 0,000211*N7xK7	32,7	< 0,01
N7xK7		0,000878

Cuando se incluyen solamente los tratamientos del 1 al 5, la relación (también inversa) se establece entre sob14 y la dosis de Calcio aplicada a los 12 meses (Ca12) con un R<sup>2</sup> ajustado mayor.

Tabla 4.14 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 14 meses con las dosis de nutrientes aplicadas de los 7 a los 12 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
sob14 = 0,989583 - 0,000227*Ca12	40,6	< 0,01
Ca12		0,001488

Se ha intentado hallar un modelo que relacione las siguientes variables: alt14, alt14-9 (diferencia de crecimiento en altura entre los meses 14 y 9), ip14, ip14-7, dac14 con las dosis de los nutrientes aplicados entre los 7 y 12 meses (P7, N7, K7, Ca12, B9, Zn7, Cu7, Fe7, Mn7, N7xP7, N7xP7xK7, N7xK7) y no existe un modelo significativo que explique relaciones entre las mismas. Para dac14-7 se ha hallado un modelo, que sin ser significativo incluye a P7, así como para dcm14 se ha hallado un modelo no significativo que incluye a Zn7, N7 y N7xP7.

A su vez la sobrevivencia (en porcentaje) al mes 19 estaría explicada en un 37,4% (R<sup>2</sup> ajustado), por la interacción inversa de la dosis de Boro aplicada al mes 14 (B14) en el siguiente modelo.

Tabla 4.15 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la sobrevivencia a los 19 meses con las dosis de nutrientes aplicadas hasta los 14 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
$\text{sob19} = 1,000000 - 0,046012 * \mathbf{B14}$	37,4	< 0,01
<b>B14</b>		0,002460

Al relacionar las dosis de nutrientes aplicados versus el incremento en alguna de las variables dendrométricas se ha hallado un modelo significativo que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 14 meses, la cual se explica en forma directa por la dosis de P aplicada a los 14 meses.

Tabla 4.16 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 14 meses (alt19-14) con las dosis de nutrientes aplicadas hasta los 14 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
$\text{alt19-14} = 112,6271 + 0,1896 * \mathbf{P14}$	21,4	< 0,01
<b>P14</b>		0,007674

La diferencia de altura entre los 19 y los 7 meses se explica (con una débil asociación de 14,4%) por la interacción positiva de N14xP14xK14.

Tabla 4.17 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 7 meses (alt19-7) con la interacción de dosis de nutrientes aplicadas hasta los 14 meses

<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup> ajust.</b>	<b>Signific.</b>
$\text{alt19-7} = 131,9776 + 0,0000455289 * \mathbf{N14xP14xK14}$	14,4	< 0,05
<b>N14xP14xK14</b>		0,026267

En tanto, en el intento de hallar una relación entre variables dendrométricas y concentraciones foliares de nutrientes (N19f, P19f, K19f, Ca19f, Mg19f, S19f, B19f, Cu19f, Fe19f, Mn19f, Zn19f, es decir concentración foliar de N los 19 meses, etc.), se ha hallado un modelo significativo para la variable alt19-7 (diferencia de altura entre los 19 y los 7 meses).

Tabla 4.18 Ecuación de regresión múltiple que relaciona la diferencia de altura entre los 19 y 7 meses (alt19-7) con las concentraciones foliares a los 19 meses

Ecuación	R <sup>2</sup> ajust.	Signific.
alt19-7 = 169,5083+5,3011*K19f -9,0906*Cu19f+ 0,4555*Fe19f - 75,0430*Mg19f -0,6583*N19f	84,1	< 0,01
K19f		0,000044
Cu19f		0,000160
Fe19f		0,000493
Mg19f		0,005732
N19f		0,037151

Finalmente, al intentar relacionar la concentración foliar de nutrientes con las dosis aplicadas, se halla un modelo significativo que asocia directamente el contenido de Boro foliar a los 19 meses (B19f) con la dosis de Boro aplicada a los 14 meses (B14).

Tabla 4.19 Ecuación de regresión múltiple que relaciona B19f con la dosis de Boro aplicada a los 14 meses (B14)

Ecuación	R <sup>2</sup> ajust.	Signific.
B19f = 38,80000 + 40,76333 * B14	58,9	< 0,01
B14		0,000503



Figura 4.5 Terreno en preparación, se observa la aplicación de herbicida en el líneo de plantación.



Figura 4.6 Estado de los ensayos en Febrero de 2001, cuando las plantas contaban con 2,5 años de edad (30 meses).

## CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

De acuerdo a lo observado en el Capítulo 4, para el ensayo de N se constata una asociación positiva entre la aplicación de N (para la dosis de 50 kg/ha sin la adición de Boro) y el crecimiento de las plantas de *Pinus taeda*, la cual alcanza su máxima expresión en la medición de los 21 meses de edad (es decir 12 meses luego de la aplicación inicial de fertilizantes y 4 meses después de la segunda aplicación), pero que no se diferencia estadísticamente de los efectos derivados de una fertilización básica que no contiene N (trat. 2 con P, K y micronutrientes). Esto se mantiene hasta los 47 meses de edad en donde el IP del tratamiento 6 supera en 29,7% al del tratamiento no fertilizado (trat. 1), siendo que para esta última edad las diferencias entre tratamientos son estadísticamente no significativas en este grupo de tratamientos. A los 47 meses en la variable IP se observa que todos los tratamientos con fertilización con N, -salvo los trat. 5 y 10-, relacionan positivamente la dosis de N y el crecimiento de las plantas, incluyéndose además entre éstos al trat. 2 (FB). Se observó un grupo de tratamientos que se diferencian de esta tendencia, entre ellos están el 5, 10 y el testigo, sin diferencias estadísticas entre sí. Éstos estarían indicando una ligera tendencia a una depresión a temprana edad o indiferencia (sin diferencia con el testigo), en el crecimiento de las plantas a mayores dosis de N, ya que estos tratamientos acumulan más N hasta cerca de la evaluación de los 47 meses.

La tendencia a un mayor crecimiento asociado con la adición de N ocurre en los tratamientos en ausencia de Zn, Cu y/o B.

La interacción de la fertilización de N en ausencia de Ca adiciona otro punto de interrogación, ya que tratamientos similares integran grupos de respuesta disímiles. Esta respuesta, -estadísticamente diferente-, se manifiesta desde temprana edad y se mantiene hasta la edad evaluada (tratamientos 9 y 10).

Este resultado contrasta hasta cierto punto, -y haciéndose la importante salvedad de que los suelos de los ensayos no comparten características físicas, ni químicas, perteneciendo a complejos de suelos diferentes-, con lo hallado por Fernández et. al. (9), en dónde observaron una asociación negativa de la fertilización con N (en ausencia de P y K) y el crecimiento.

A su vez, en este ensayo (3N-C1-PT-99) los tratamientos fertilizados con N tienen una fertilización básica que incluye K en dosis de 80 kg/ha aplicada en dos cuotas,

elemento que podría estar contrarrestando el efecto negativo del N relatado en otras experiencias. De manera coincidente, en el ensayo de Fernández et. al. (9) los mayores crecimientos se alcanzaron en las combinaciones que incluyeron Potasio en dosis media o alta. En un ensayo de la misma serie y época de instalación, no relatado aquí (3K-C1-PT-99), en el que se probó el efecto de dosis de K sobre el crecimiento del *P. taeda* no se han observado diferencias entre tratamientos en las mediciones a los 14 y a los 19 meses, inclusive para el tratamiento que solamente incluía fertilización básica con N, P y Ca, sin K, lo cual podría indicar que el N no estaría teniendo efecto ni antagónico, ni positivo, sobre el crecimiento de las plantas.

Aparicio et. al. (6) en un ensayo de fertilización con Nitrógeno y Potasio ubicado en suelos arenosos de Concepción, Corrientes verificaron un efecto detrimento de la fertilización en el crecimiento de las plantas. La fertilización con N provocó un efecto negativo en el crecimiento, con una disminución en DAC de hasta un 8% cuando se aplicó la dosis de 90 g de urea por planta, a los 8 meses de edad. Con relación a la fertilización con Potasio, en Concepción el *P. taeda* mostró a la misma edad de 8 meses, una respuesta positiva con la aplicación de la mayor dosis de cloruro de potasio (94 g por planta). Sin embargo, la respuesta fue mínima, considerando que la diferencia de crecimiento con relación a las parcelas sin K sólo fue del 5,5 %. La fertilización con P no mostró respuestas en este sitio; sin embargo, en sitios ubicados en Ituzaingó y Paso de los Libres, también en suelos de textura arenosa, hallaron que las diferencias en altura y en DAC, entre tratamientos sin P y otro con 100 g de SFT (superfosfato triple) representaron un 8% a favor de aquellos con P. Por otra parte, con 100 ó 200 g de SFT por planta los crecimientos no exhibieron diferencias de crecimiento. En cambio verificaron una interacción de P con K. Cuando se aplicaron ambos nutrientes por separado, el aumento en crecimiento del DAC fue moderado (en promedio superaron al testigo en un 20%); la aplicación conjunta de P y K produjo un efecto sinérgico, en particular con los niveles de 200 gr de SFT y 47 gr de KCl por planta, superando al testigo en crecimiento en 36%.

En el presente ensayo (3N-C1-PT-99) se observa sin embargo una tendencia en uno de los modelos de regresión (Tabla 4.5), de relacionar negativamente a la sobrevivencia medida a los 21 meses con la dosis de N, y en forma positiva con la dosis de B, ambos aplicados a los 15 meses. Si bien el grado de ajuste es bajo, esto contrasta con lo hallado en

el análisis de variancia (Tabla 4.4) para la sobrevivencia respecto de las dosis de N y B, para las cuales se ha observado diferencias no significativas entre tratamientos.

La relación directa de P (Tabla 4.7) en un modelo de regresión explicando el incremento en altura entre los 15 y los 21 meses de *Pinus taeda* en el ensayo 3N-C1-PT-99, es coincidente con lo hallado por Fernández et. al. (9), en el nordeste de Corrientes en suelos de textura arcillosa (suelo rojo profundo del Grupo Kandiuales) y Aparicio et. al. (6) en Ituzaingó y Paso de los Libres. Coincide además con lo hallado por Vogel (39) a los 19 meses de edad en un suelo de textura arcillosa en Rio Grande do Sul, en donde se observa una asociación lineal y cuadrática significativa al 5% de probabilidad, de la dosis de P con el crecimiento, con coeficientes de determinación ( $R^2$ ) entre 21 y 36% para las variables altura de copa y volumen cilíndrico respectivamente.

Al relacionar las concentraciones foliares de nutrientes a los 19 meses con las dosis de fertilizantes aplicadas hasta los 15 meses se han hallado algunos modelos significativos, por ejemplo para Boro y para Nitrógeno. La concentración foliar de B está asociada fuertemente ( $R^2$  ajustado de 83,6%) y en forma directa, con la dosis de B y N, e inversamente con la dosis de P aplicadas hasta los 15 meses (Tabla 4.9). A su vez la concentración foliar de N está asociada directamente con la dosis de Ca aplicada hasta los 12 meses e inversamente con las dosis de N y B aplicadas hasta los 15 meses (Tabla 4.10).

A los 19 meses se observa que hubo una tendencia de mayor concentración de N en las acículas de las plantas de los tratamientos en que no fue aplicado fertilizante, siendo que la concentración de N en las acículas de los tratamientos 1 y 2 no es significativamente diferente de los demás tratamientos, salvo del tratamiento 9 (Tabla 4.3a). Otra característica en este ensayo, fueron los elevados tenores de B en los tratamientos en que este nutriente fue aplicado vía fertilización básica (tratamientos 2, 5, 7, 8 y 9), dando sustento al modelo que relaciona fuertemente la concentración foliar de B con la dosis aplicada, descrito en el párrafo anterior. Esto explicaría el mejor crecimiento de las plantas del tratamiento 6, hasta los 21 meses de edad (Tabla 4.4), partiendo del presupuesto que las elevadas tasas de B de los otros tratamientos podrían estar provocando un efecto tóxico a las plantas (41). El tratamiento 1, que no recibió B en la fertilización básica, presentó menor crecimiento con relación a los demás debido a la total ausencia de fertilizantes. La concentración de B en los tratamientos 1 y 6 es similar entre sí y



significativamente diferente de los demás tratamientos, salvo del tratamiento 7, mostrando en general la fuerte presencia de este nutriente en las acículas de las plantas que lo recibieron vía fertilización. A su vez, las concentraciones de los demás nutrientes (salvo N y B), no registran diferencias significativas entre tratamientos, contrastando con lo hallado por el modelo de la Tabla 4.10 en dónde la concentración foliar de N está asociada negativamente con la dosis aplicada de este elemento.

Para el ensayo con P (3P-C1-PT-99) se ha verificado que existe un mayor crecimiento de los tratamientos fertilizados con P respecto del tratamiento testigo sin fertilizar (trat. 1) hasta los 33 meses, mostrando el tratamiento 5 (de mejor desempeño) un crecimiento 15,0% superior en IP que el tratamiento 1, siendo la diferencia de crecimiento entre estos dos tratamientos la única diferencia estadísticamente significativa. A los 14 meses la diferencia entre el tratamiento 5 y el 1 en la variable IP alcanza su mayor amplitud, de 17,2%. Se verifica asimismo en ambas mediciones que los tratamientos de mejor desempeño en general, no se diferencian significativamente del tratamiento 2 (fertilización básica). A los 19 meses no existen diferencias entre ninguno de los tratamientos (Tabla 4.12).

Los modelos de regresión que relacionan la sobrevivencia a los 14 meses encuentran una asociación negativa de ésta con la interacción de las dosis de N x K aplicadas a los 7 meses y la de Ca aplicada a los 12 meses (este último modelo solamente válido para trat. 1 al 5), según Tablas 4.13 y 4.14. A su vez el Boro estaría influenciando negativamente a la sobrevivencia medida al mes 19 (Tabla 4.15), al contrario de lo hallado en el anterior ensayo descrito (3N-C1-PT-99), en donde la dosis de B aplicada a los 15 meses influencia positivamente a la sobrevivencia medida al mes 21.

El incremento en altura entre los 14 y 19 meses halla una asociación positiva con la dosis de P aplicada a los 14 meses. La diferencia de altura entre los 7 y 19 meses, a su vez, se relaciona en forma directa con la interacción de las dosis de N, P y K ( $N_{14} \times P_{14} \times K_{14}$ ) aplicadas a los 14 meses. Ambos modelos (Tablas 4.16 y 4.17) tienen un grado de ajuste bajo de 21,4 y 14,4% respectivamente.

Por otra parte, la diferencia de altura entre los 7 y 19 meses halla un modelo de fuerte grado de ajuste con la concentración foliar de K, Cu, Fe, Mg y N a los 19 meses,

siendo la relación de la concentración foliar del Cu, Fe y N en forma inversa respecto del incremento en altura (Tabla 4.18).

Coincidente con lo hallado para Boro en el ensayo con N, se verifica un fuerte grado de asociación (positiva) entre la dosis de B aplicada a los 14 meses con su concentración foliar a los 19 meses.

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

1) Para el ensayo de N se constata una tendencia a un mayor crecimiento de *Pinus taeda* asociado con la adición de N, lo cual ocurre en los tratamientos en ausencia de Zn, Cu y/o B. Sin embargo la tendencia no es acompañada por todos los tratamientos fertilizados con N, ya que algunos tratamientos fertilizados con N hasta edad más avanzada no se diferencian del testigo, y además a temprana edad mostraron depresión del crecimiento. La interacción de la fertilización de N en ausencia de Ca adiciona otro punto de interrogación, ya que tratamientos similares integran grupos de respuesta disímiles.

Subsisten, por lo tanto, interrogantes acerca de la influencia de la fertilización nitrogenada y sus interacciones con los demás nutrientes, sobre el crecimiento inicial de *Pinus taeda* en estos suelos. Estos interrogantes deberán ser develados mediante investigación que intente aislar los efectos de los nutrientes y de las interacciones de interés;

2) Los tenores de nutrientes en las acículas de las plantas están dentro o por encima del rango ideal citada por la literatura. Esto no se cumple, sin embargo, para Mg y S en ambos ensayos analizados (3N-C1-PT-99 y 3P-C1-PT-99);

3) Basado en los análisis de concentraciones de nutrientes en las acículas y del crecimiento, la fertilización con N no sería recomendable, -y *a priori* incluso contraproducente a temprana edad-, hasta que se obtengan tendencias claras en las respuestas, para el desarrollo de las forestaciones de *Pinus taeda* en los suelos arenosos del centro-oeste de Corrientes, a pesar de lo poco fértil del suelo y en vista de que la ventaja otorgada por la fertilización se diluye con el transcurso del tiempo disminuyendo la diferencia entre tratamientos;

4) La función del Boro o su efecto sobre las plantas de *Pinus taeda* es hasta aquí poco clara, ya que en uno de los modelos de regresión la creciente dosis de este nutriente aparece relacionada en forma directa con una mayor sobrevivencia de las plantas y en otro modelo aparece relacionada en forma inversa disminuyendo la sobrevivencia de las plantas. Siendo que, en el análisis de variancia, los tratamientos no muestran diferencias entre sí para la variable sobrevivencia;

5) Las concentraciones foliares de B y N a los 19 meses y las dosis de fertilizantes de estos nutrientes aplicadas hasta los 15 meses se hallan fuertemente asociadas y en forma directa, pero se relacionan en forma inversa con la dosis de P. A su vez la concentración foliar de N está asociada directamente con la dosis de Ca aplicada hasta los 12 meses e inversamente con las dosis de N y B aplicadas hasta los 15 meses;

6) Para el ensayo con P existe un mayor crecimiento de los tratamientos fertilizados con P respecto del tratamiento testigo sin fertilizar hasta los 33 meses. El tratamiento de mayor crecimiento verificó un crecimiento 15,0% superior en IP que aquel sin fertilización, siendo esta diferencia estadísticamente significativa; los tratamientos de mayor crecimiento no se diferencian significativamente del tratamiento de fertilización básica (trat. 2). A los 14 meses la diferencia entre estos tratamientos en la variable IP alcanza su mayor amplitud, de 17,2%;

7) Hasta la edad evaluada no habría, por lo tanto, sustento para recomendar una fertilización inicial con P para *Pinus taeda* en los suelos arenosos del centro-oeste de Corrientes, salvo que la diferencia de crecimiento observada entre fertilizar (tanto sea solamente con P o con fertilización básica) versus no fertilizar se mantenga a edades más avanzadas, lo cual ameritaría además un análisis financiero;

8) En el ensayo con P, la diferencia de altura de las plantas entre los 7 y 19 meses integra un modelo de fuerte grado de ajuste con la concentración foliar de K, Cu, Fe, Mg y N a los 19 meses, siendo la relación de la concentración foliar del Cu, Fe y N en forma inversa respecto del incremento en altura;

9) Para ambos ensayos se verifica un fuerte grado de asociación (positiva) entre la dosis de B aplicada por vía de fertilización con su concentración foliar;

10) Se sugiere para sucesivas investigaciones intentar develar el papel que juegan las aguas subsuperficiales en la fertilidad del sitio, ya que a pesar de lo frugal de las especies de *Pinus*, no existen signos visuales y/o en contenido de nutrientes en acículas que indiquen deficiencias nutricionales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- (1) SAGPyA, Inventario Nacional de Plantaciones Forestales, Proyecto Forestal de Desarrollo, Buenos Aires, Argentina, 63 p., 2001.
- (2) SAGPyA, Régimen de Promoción de Plantaciones Forestales años 1992-1999, Decreto Poder Ejecutivo Nacional N° 2773 (Dic/1992), Buenos Aires, Argentina, 1992.
- (3) INTA, EEA Corrientes, Base de datos de suelos, clima, cultivos y explotaciones de la provincia de Corrientes, Convenio INTA - Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente (MAGIC) dirección de Recursos Forestales, Base de datos en versión digital, Corrientes, Argentina. 1997.
- (4) MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN DE CORRIENTES, En <http://www.minprodcorrientes.gov.ar/FORESTALES.htm>, Recursos Forestales, 2003. Sitio consultado en Abril de 2003.
- (5) CURRIE, H.. Los suelos con aptitud forestal de la provincia de Corrientes con énfasis en *Pinus* y *Eucalyptus*, Dirección del Servicio Conservación de Suelos, MAGIC, Corrientes, Argentina, 1995.
- (6) APARICIO, J. L.; LOPEZ, J. A; DALLA TEA, F.; FINKER, L. y MONTICELLI, C., Respuesta de las especies de mayor importancia foresto-industrial a la fertilización con NPK en los suelos arenosos de la provincia de Corrientes, Proyecto de Investigación aplicada PIA 37/96, 1999.
- (7) DALPRÁ, L., Pérez Companc SA – Proyecto Forestal Corrientes Ley N° 25 080, Carpeta técnica presentada a la SAGPyA y Dirección de Recursos Forestales de Corrientes, Proyecto aprobado por resolución SAGPyA N° 65/2001, 1999.
- (8) GONÇALVES, J.L.M.; DALPRÁ, L.; SASAKI, C., Relatório projeto 2 (evaluación del estado nutricional de plantaciones de *Pinus taeda* y *P. elliottii* en Misiones y Corrientes), Convenio IPEF-Pecom, Inédito, 1999.

- (9) FERNÁNDEZ, R.; RODRÍGUEZ ASPILLAGA, F.; LUPI, A.; LOPEZ, E.; PEZZUTTI, R., Respuesta del *Pinus taeda* y la *Araucaria angustifolia* a la adición de N, P y K en la Implantación, Jornadas Forestales Silvoargentina, Virasoro, Corrientes, 2000.
- (10) SAGPyA, Costos de implantación Mesopotamia, Dirección de Forestación, 2003.
- (11) ALLEN, H. L., Enhancing Southern Pine productivity with fertilization, The Consultant, pg. 12-17, North Carolina State University, 1994.
- (12) ALLEN, H. L., Manipulating loblolly pine productivity with early cultural treatment, p. 301-317, in: Sustained productivity of forest soils, proceedings of the 7th North American Forest Soils Conference, Vancouver, 1990.
- (13) SCHMIDTLING, R. C., Early intensive culture affects long-term growth of loblolly pine trees, Forest Science, 30: 491-498, 1984.
- (14) JOKELA, E. J. & STEARNS-SMITH, S. C., Fertilization of established southern pine stands: effects of single and split nitrogen treatments, Southern Journal of Applied Forestry, Vol. 17, No. 3, August 1993.
- (15) JOKELA, E. J., HARDING, R. B. & NOWAK, C. A., Long-term effects of fertilization on stem form, growth relations and yield estimates of slash pine, Forest Science, vol. 35, No.3, p. 832-842, 1989.
- (16) STEARNS-SMITH, S. C., JOKELA, E. J. & COMERFORD, N. B., Research report-B300 experiments: Fertilizer rate-response relationships in semi mature southern pine stands of the Lower Coastal Plain, Coop. Res. in For. Fert., University of Florida, Gainesville, 98 p., 1989.
- (17) NCSFNC, Nineteenth annual report on the North Carolina State Forest Nutrition Cooperative, College of Forestry Resource, North Carolina State University, 1990.

- (18) JOKELA, E. J., ALLEN, H. L. & McFEE, W. W., Fertilization of southern pines at establishment, Forest regeneration manual, p. 263-277, Dordrecht, The Netherlands, 1991.
- (19) BALLARD, R., Urea and ammonium nitrate as nitrogen sources for southern pine plantation, South J. Appl. For., 5:105-108, 1981.
- (20) FISCHER, R. F. & PRITCHETT, W. L., Slash pine growth response to different nitrogen fertilizers, Soil Sci. Soc. Am. J., 46: 133-136, 1982.
- (21) SCHUTZ, C. J., A review of fertilizer research on some of the more important conifers and eucalypts planted in subtropical and tropical countries, with special reference to South Africa, Bull 53, Dep. For., Pretoria, 89 p., 1976.
- (22) HERBERT, M. A., Fertilizing at plant, Inst. Commer. For. Res. Annual Rep., 1985, p. 125-129, 1985.
- (23) HERBERT, M. A., Fertilizing at pine at planting in the summer rainfall areas of South Africa, Inst. Commer. For. Res. Annual Rep., 1986, p. 123-132, 1986.
- (24) HERBERT, M. A. & SCHÖNAU, A. P. G., Fertilizing Commercial Forest Species in Southern Africa: Research Progress and Problems (Part 1), South African Forestry Journal, No. 151, p. 58-70, 1989.
- (25) HERBERT, M. A. & SCHÖNAU, A. P. G., Fertilizing Commercial Forest Species in Southern Africa: Research Progress and Problems (Part 2), South African Forestry Journal, No. 152, p. 34-42, 1990.
- (26) DONALD, D. G. M., LANGE, P. W., SCHUTZ, C. J. & MORRIS, A. R., The application of fertilizers to pines in Southern Africa, S. Afr. For. J., (141):53-62, 1987.
- (27) SCHÖNAU, A. P. G., Note on the re-afforestation of marginal soils in the Midlands Region, For. S. Afr., (4): 97-104, 1964.

- (28) DONALD, D. G. M., The measurement of height in fertilizer trials, S. Afr. For. J., (98): 6-11, 1976.
- (29) SAASVELD, Touring guide forestry nutrition working group, Saasveld For. Res. Stat., George, 1980.
- (30) SAASVELD, Handouts and recommendations on forest soils, nutrition and fertilizer treatment of pines in Southern Cape, Saasveld For. Res. Stat., George, 1982.
- (31) HERBERT, M. A., Fertilizing, Inst. Commer. For. Res. Annual Rep., 1988, p. 23-33, 1988.
- (32) APARICIO, J. L. y LOPEZ, J. A. (h), Respuesta de *Pinus taeda* a la fertilización con fosfato diamónico y al agregado de una cubierta de aserrín, II Congreso Forestal Argentino y Sudamericano, Posadas, 9 p. 1997.
- (33) PAHN, C., Informe de Impacto Ambiental proyecto de Forestación empresa PeCom Forestal en Corrientes. Presentado a SAGPyA en el marco de la Ley 25080 y decreto reglamentario, 125 p., 1999.
- (34) MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A., Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Capítulo 6: Metodologia para análise de elementos em material vegetal, Piracicaba, Potafos, 211 p., 1989.
- (35) GONÇALVES, J.L.M.; SASAKI, C.M.; DALPRÁ, L.A., Evaluación del estado nutricional de plantaciones de *Pinus elliottii* y *Pinus taeda* en las provincias de Misiones y Corrientes, Argentina, Silvoargentina 1, Corrientes, 2000.
- (36) EMBRAPA, Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 412 p., 1997.
- (37) RECURSOS NATURALES. E.E.A. INTA CORRIENTES. Establecimientos “Batel” y “La Fuente Cué”, departamento San Roque, pcia. de Corrientes. Aptitud de suelos para *Pinus taeda* y *P. elliottii*. Corrientes, 2001.



(38) SOARES, M.T.S., Taxas de mineralização e de lixiviação do nitrogênio, e alterações da fertilidade de um latossolo vermelho-amarelo degradado e outro não-degradado fertilizados com biossólido e florestados com *Eucalyptus grandis*, Tese Doutorado, ESALQ, Piracicaba, San Pablo, Brasil, 142p, 2003.

(39) VOGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R., Crescimento inicial de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. Tese de Mestrado em Engenharia Florestal, UFSM, Santa Maria, Rio Grande do Sul. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 199-206, 2005.

(40) STORCK, L.; LOPES, S.J. Experimentação II. Santa Maria: UFSM, CCR, Departamento de Fitotecnia, 205 p, 1998.

(41) BALLONI, E. A. A Utilização de Boro em florestas plantadas. IPEF Circular Técnica No. 70. ESALQ-USP. Piracicaba, Brasil. p. 1-15, 1979.

## 8. ANEXOS

### A. Fuentes de fertilizantes, características y concentraciones

#### Sulfato de cobre pentahidratado

Sulfato de cobre	98/99
Hierro	0,03% máximo
Insolubles	0,05% máximo
Zinc	0,01% máximo
Plomo	0,001% máximo
Cobre metálico	<b>24,8/25%</b>

#### Sulfato de zinc monohidratado

Solubilidad	86,6gr/100 H <sub>2</sub> O 80°C
Sal hidratada (mínimo)	96%
Zinc (metal mínimo)	<b>34,50%</b>
Hierro (máximo)	1,80%
Cobre (máximo)	0,002%
Manganeso (máximo)	1,50%
Zinc (como soporte)	34,50%
Sulfuro (como soporte)	17,50%

#### Sulfato de manganeso

Pureza	98,82%
Manganeso	<b>32,12%</b>
Hierro	0,0029%
Insolubles	0,0460%
Cl	0,02%

#### Sulfato de hierro

Pureza	+96%
Hierro	<b>19,3%</b>
Humedad	4%
Color	verde
Insolubles	0,01%

#### Cloruro de potasio (KCl)

KCl (mínimo)	95%
K <sub>2</sub> O (mínimo)	<b>60%</b>
H <sub>2</sub> O (típico)	0,30%
Insolubles (típico)	0,10%

#### Urea

46% de N

#### Superfostato triple

46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

#### Ulexita (Termobórax)

12% de B

Solubilidad en ácido cítrico: > a 50%  
Solubilidad en citrato de amonio: entre 20 a 30 %  
Tratamiento térmico: bajo o medio

#### Calcáreo dolomítico

**AUTOR: LUIS ALBERTO DALPRÁ. E-mail: [ldalpra@arnet.com.ar](mailto:ldalpra@arnet.com.ar)**

Luis Alberto Dalprá. Ing. Forestal (UNaM). Master Scientae en Ciencias Forestales (UNaM). Consultor, Asesor en Manejo Forestal, en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en Planificación estratégica de Recursos Naturales, con más de 10 años de

experiencia en ejecución y coordinación de proyectos relacionados al área Forestal y Medio Ambiente.

Ex Jefe de Planeamiento, Patrimonio, Desarrollo e Investigación de importante empresa forestal nacional, Petrobras, ex PeCom Energía. Pto. Iguazú, Misiones, Argentina.