

FERTILIZACIÓN

Manejo de la fertilidad.

Se refiere a un conjunto amplio de acciones que, en el marco de un proceso productivo, se realizan a los fines de mantener o incrementar la fertilidad química, física y biológica del suelo; incluye a la fertilización con fertilizantes como una de las variantes de intervención.

El manejo de la fertilidad está estrechamente vinculado con el concepto de capacidad productiva de sitio y la sustentabilidad.

Fertilización con fertilizantes químicos.

Es una enmienda química específica, que apunta principalmente a mejorar la disponibilidad de uno o más nutrientes.

¿Por qué usar fertilizantes en silvicultura?

En rodales:

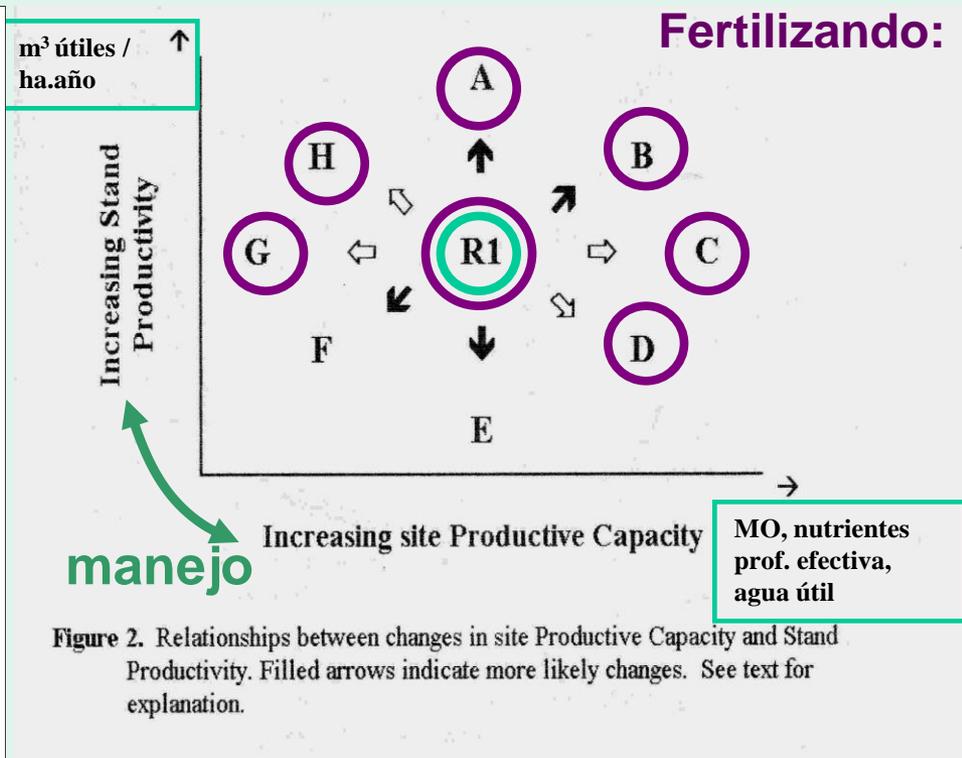
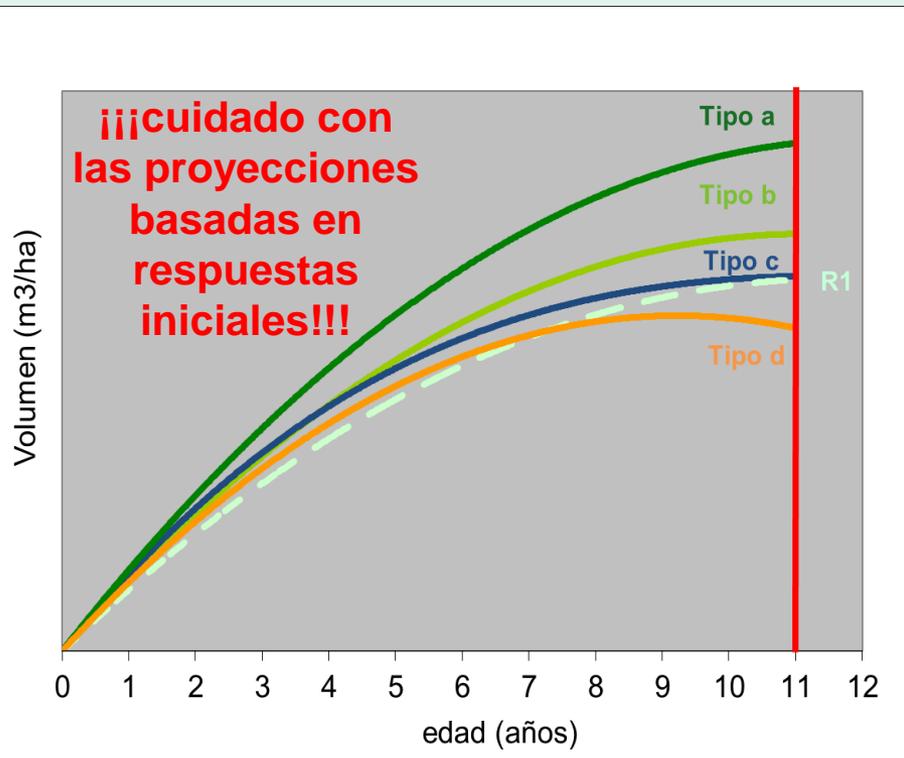
- para hacer viable un cultivo que no prospera por deficiencias agudas.
- para obtener mayor rendimiento y/o acortar el turno.
- para obtener mejor calidad de madera.
- para obtener más madera de alta calidad.
- para compensar la extracción de nutrientes o para mejorar la fertilidad química del suelo.
- para superar etapas críticas (heladas, hormigas, malezas).

En vivero:

- para acortar los ciclos de producción
- para lograr la calidad deseada (tamaño, rusticación)

Los tratamientos intermedios y su relación con la productividad y la capacidad productiva del sitio:

Condición ideal: incrementar la productividad junto con la capacidad productiva



En relación con la fertilización la mayoría de las respuestas son posibles.

Tipos de fertilización

según el objetivo

(¿por qué fertilizar?)

- de arranque
- de reposición
- de requerimiento
- de enriquecimiento

según la posición

(¿dónde fertilizar?)

- foliar
- al suelo
- al voleo o general
- localizada

según el momento

(¿cuándo fertilizar?)

- en el establecimiento
- en combinación con raleos - podas
- en las etapas finales de la rotación

Estas categorías pueden combinarse entre sí, ej. una fertilización al suelo (posición) que sea de arranque (objetivo) durante la etapa de establecimiento (momento).

Según el objetivo

- **De arranque:** es la más empleada en Argentina. Se realiza al comienzo de la rotación (plantación y etapa de establecimiento) y busca mejorar el prendimiento, crecimiento inicial, homogeneidad del rodal y dar ventajas a los árboles respecto de heladas, hormigas y malezas.



Según el objetivo

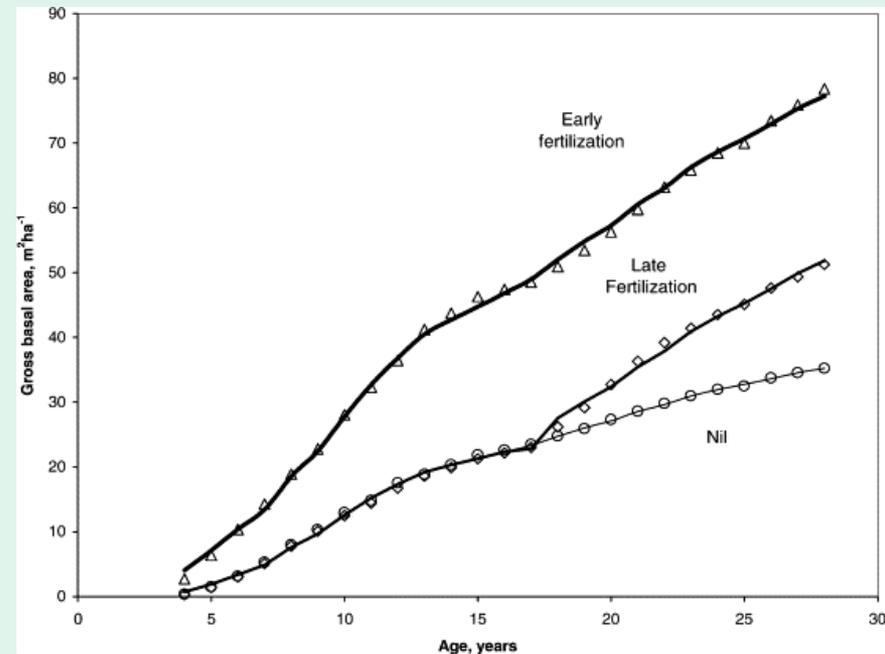
- **De reposición:** busca reponer los nutrientes que se exportan con la cosecha o pierden del suelo durante la rotación (lixiviación profunda; volatilización), y por ende apunta a mantener la capacidad productiva.

Para realizarla se necesita monitorear la fertilidad química del sitio y contar con un *balance nutricional* de la rotación; no hay antecedentes operativos en Argentina.

Según el objetivo

- **De requerimiento:** proporciona la cantidad y tipo de nutriente requeridos por el cultivo forestal durante la rotación, para alcanzar un nivel de rendimiento prefijado en los objetivos, en un sitio determinado. No hay antecedentes operativos en el País.

Para poder utilizarla, se necesita en primer lugar planificar la rotación y fijar con anticipación objetivos productivos (ej. rendimiento en m^3/ha); también es necesario contar con curvas de dosis – respuesta para el o los nutrientes a fertilizar, o modelos de rendimiento que incluyan un submodelo de fertilización.



Ejemplo de aplicación: fertilización de requerimiento basada en balance nutricional.

Stahringer et al., 2017. Recomendación de fertilizantes para *Pinus* y *Eucalyptus* en Corrientes, Argentina, utilizando balance nutricional.

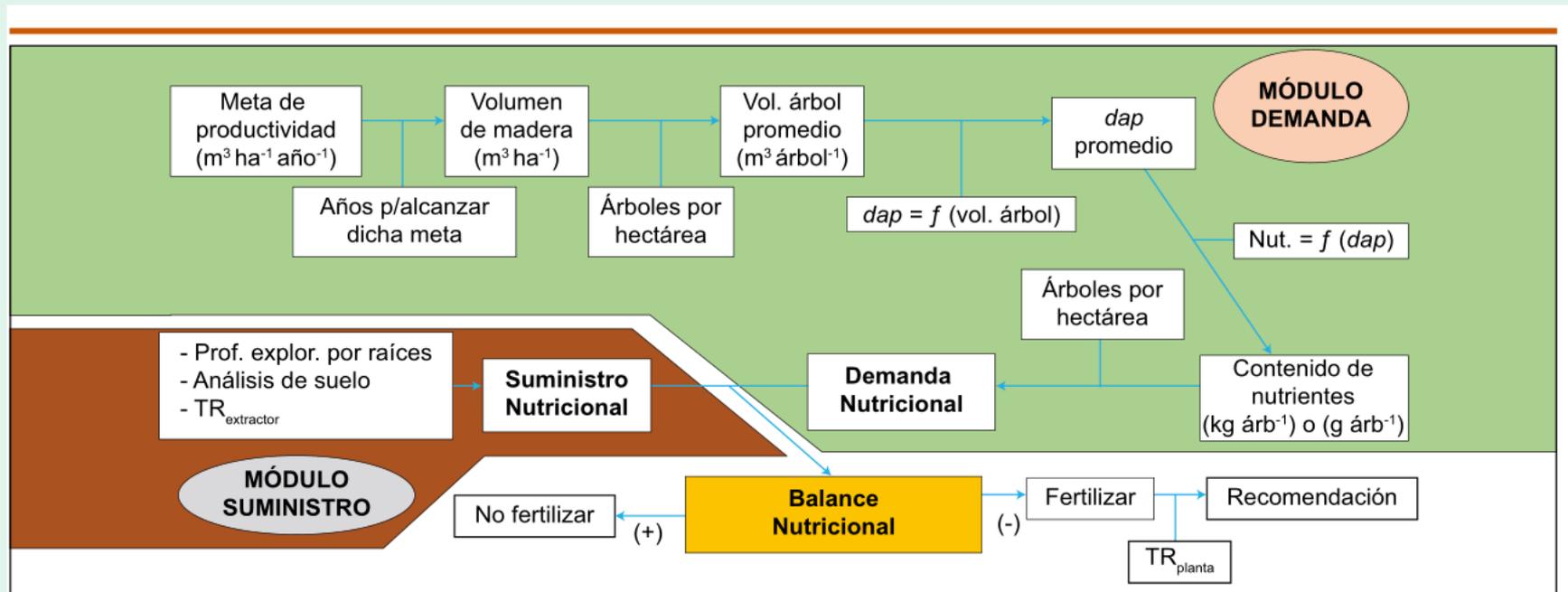


Figura 2. Diagrama de flujo del modelo de balance nutricional para cultivos forestales considerando el módulo demanda (planta) y el módulo suministro (suelo). Fuente: Adaptado de Stahringer et al. (2014).

Según el objetivo (continuación)

Simulación para: *E. grandis* en Corrientes; 1000 pl./ha; producción objetivo: 35 m³·ha⁻¹·año⁻¹ al cuarto año.

Tabla 5. Balance nutricional para llegar a las recomendaciones de nutrientes, en kg ha ⁻¹ de cada nutriente, en los sitios 1 y 2.						
Nutriente	Suministro	Demanda	Balance nutricional	Fertilización de implantación	TR _{planta}	Recomendación
			kg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹
Sitio 1						
N	526	277	250	-	-	0
P	26	29	-3	-17.5	0.53	40
k	251	198	53	-	-	0
Ca	3111	410	2701	-	-	0
Mg	515	63	452	-	-	0
Sitio 2						
N	369	277	92	-	-	0
P	9	29	-20	-17.5	0.53	70
K	87	198	-110	-	0.71	155
Ca	307	410	-103	-	0.37	275
Mg	265	63	202	-	-	0

De enriquecimiento: su principal objetivo es mejorar la fertilidad química de uno o más nutrientes, por tanto elevar la capacidad productiva del sitio. No hay casos operativos en Argentina*.

Según la posición.

- **Foliar:** aplicación al follaje (generalmente micronutrientes o elementos que son muy inmovilizados en el complejo de cambio del suelo).
- **Al suelo:** pueden ser fertilizantes líquidos o granulados; generalmente macronutrientes.
- **Al voleo:** significa que se esparcen sobre toda la superficie del lote.
- **Localizada:** al contrario de la anterior, el fertilizante se ubica en lugares específicos, Ej. en la línea de plantación; sobre cada planta; al costado de cada planta; en superficie o debajo de la superficie (ej. P).



Aplicación localizada: Mochila aplicadora dorsal.

Aplicación localizada: fertilizantes foliares

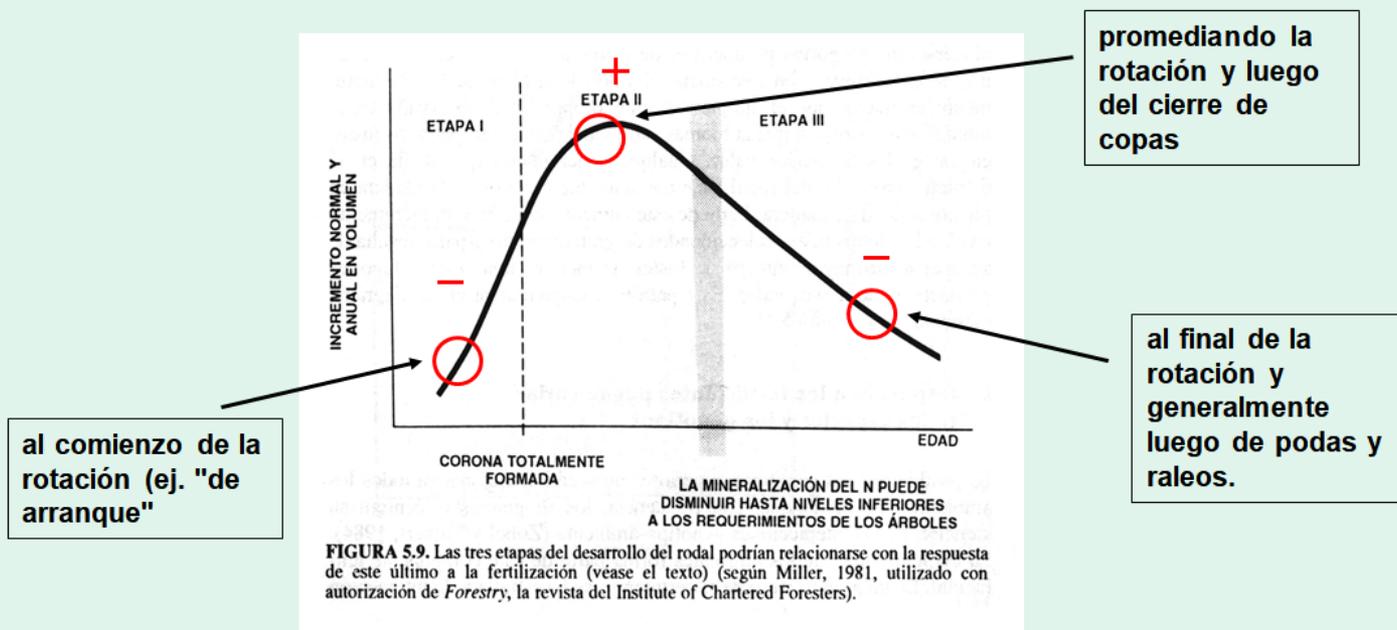


Aplicación al voleo de fertilizantes granulados con tractor.

Foto: C. van Oosten, SilviConsult, BC, Canadá.

Según el momento en la rotación.

- **En la etapa inicial (establecimiento):** es el caso típico de la fertilización de arranque.
- **Al promediar la rotación:** se aplica en coincidencia con el cierre de copas (la etapa denominada «monte bravo»); puede combinarse con podas y raleos.
- **En la etapa final de la rotación:** se utiliza cuando el rodal se compone sólo de los árboles que llegarán a la corta final.

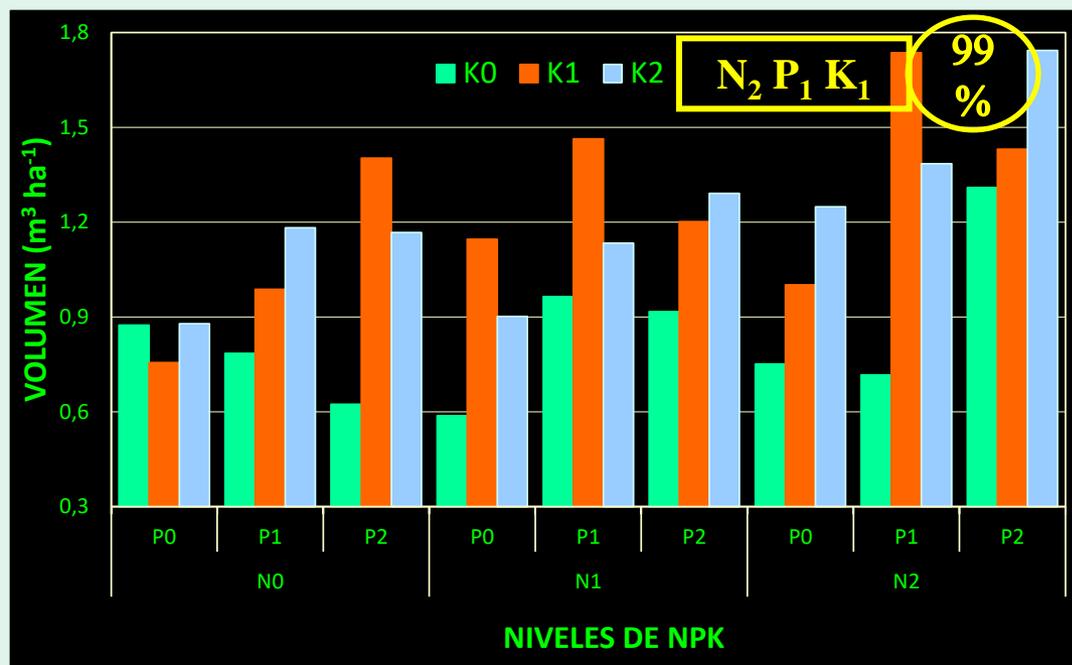
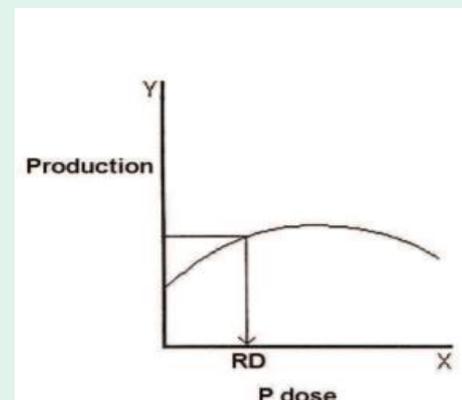


Oportunidades de fertilización según el crecimiento periódico en volumen de madera de un rodal y las probabilidades de respuesta (- o +)

¿cuál es el pre-requisito básico que tiene que darse para que la fertilización pueda ser viable a nivel operativo? :

Debo tener comprobado que el cultivo responde a la fertilización, preferentemente mediante una función de dosis – respuesta

(no es indispensable para la fertilización de reposición o para la de enriquecimiento).



Ej. clones de *E. grandis* de un año de edad en ensayo fertilización con NPK de Corrientes, INTA Bella Vista (gráfico y datos de Aparicio y Maggio, 2018).

Experiencias en la Argentina: estado actual de la tecnología de la fertilización en bosques cultivados de la Argentina.

- En nuestro País la fertilización forestal se aplica casi exclusivamente a bosques cultivados de especies exóticas, ya sea en la producción de plantas (vivero) como en los rodales.
- Actualmente hay forestadas unas 1.200.000 ha; en donde los grupos más importantes son pinos, luego eucaliptos y por último Salicáceas (sauces y álamos).
- Las regiones forestales por excelencia de la Argentina son la Mesopotamia y el Delta del Paraná.

Fertilización forestal en Entre Ríos (*E. grandis*).

- forestaciones en el este de la Provincia.
- suelos con baja capacidad de P (3 - 5 ppm)
- ensayos previos (INTA, empresas) mostraron respuesta positiva generalizada y acentuada a la fertilización de arranque; diferencia muy visible respecto de no fertilizar.
- los beneficios de estas respuestas no han sido cuantificados monetariamente.
- escasos ensayos al turno (1 publicado)
- la fertilización de arranque es generalizada, forma parte del paquete tecnológico de implantación. Se utilizan 70 g/planta de fosfato diamónico (DAP). No hay diagnóstico sitio - específico.
- aplicación manual (operario con morral y vasito), alrededor del plantín y sin incorporar; con anterioridad se hacía mecanizada, con fertiplantadora.
- en vivero: algunos viveros grandes utilizan fertirrigación con un protocolo de nutrición para cada etapa de producción de plantín (establecimiento-crecimiento-rusticación).

Fertilización forestal en Corrientes (*P. taeda*; *P. elliotii*; *E. grandis*, *Grevillea*).

- forestaciones en el sudeste (eucaliptos), centronorte y noreste (pinos, eucaliptos y grevillea o roble sedoso).
- suelos con baja capacidad de P (1 - 6 ppm).

Eucaliptos y Grevillea:

- ensayos previos (INTA, empresas) mostraron respuesta positiva generalizada y acentuada a la fertilización de arranque; diferencia muy visible respecto de no fertilizar.
- los beneficios de estas respuestas no han sido cuantificados monetariamente.
- sin ensayos publicados al turno
- la fertilización de arranque es generalizada, forma parte del paquete tecnológico de implantación. Se utilizan 70 a 100 g/planta de fosfato diamónico (DAP). No hay diagnóstico sitio - específico.
- aplicación manual (operario con morral y vasito), alrededor del plantín; con o sin incorporar.

Fertilización forestal en Corrientes (cont.)

Pinos:

- ensayos previos (INTA, empresas) no son concluyentes en cuanto a la respuesta a la fertilización de arranque de los pinos; hay dudas en cuanto a si ocurre siempre o no, y también si su magnitud justifica el tratamiento.
- los beneficios de estas respuestas no han sido cuantificados monetariamente.
- sin ensayos publicados al turno
- la percepción general es que los pinos no responden adecuadamente a la fertilización, por ello la mayoría de los productores no fertiliza los pinos.
- con anterioridad (ej. hace 10 años) las grandes forestaciones se ejecutaban con fertilización de arranque generalizada, como parte del paquete tecnológico de implantación. Se aplicaban 200 kg/ha de superfosfato triple con fertilizadora, localizada en la línea de plantación. No se hacía diagnóstico sitio - específico.

Había respuestas significativas (ej. + 50 cm altura), y se hacían proyecciones al turno. Con el precio constante de la madera y el incremento de precio de fertilizantes los análisis costo-beneficio comenzaron a acercarse a cero y hace 5 años se dejó de aplicar.

Fertilización forestal en Misiones (*P. taeda*, *P. elliottii* y *E. grandis*)

Pinos:

- si bien hay investigaciones en marcha de grupos nacionales y consorcios internacionales, en la actualidad los rodales de pinos no se fertilizan.
- en cambio la fertilización se utiliza en forma extensiva en la producción de plantas: se realizan fertirriegos en viveros, así como en algunos casos se fertiliza el sustrato de cultivo (gránulos liberación lenta). Los cultivos de "plantas madre" para la clonación de pinos se efectúan en hidroponía (abajo), cuya solución nutritiva se controla mediante monitoreo de conductividad. Es un manejo muy detallado que incide en el enraizamiento de los "cuttings« (microestacas).



Fotos: Paul Forestal SA.

Fertilización forestal en Misiones (*P. taeda*, *P. elliottii* y *E. grandis*)

Eucaliptos:

- similar al resto de la Mesopotamia.
- se realiza una fertilización generalizada y de arranque, con 60 g/planta de DAP; se están evaluando fertilizantes más completos (con micronutrientes) de liberación lenta.
- no se realizan diagnósticos sitio-específicos
- la aplicación es manual y localizada alrededor de la planta, con incorporación.
- se carece de una fundamentación económica basada en estudios al turno.

Fertilización forestal en otras regiones.

Salicáceas en el Delta del Paraná y la Pampa Húmeda:

- hay algunos desarrollos en marcha para el caso de los álamos en la Pampa Húmeda, pero no se utiliza la fertilización como tratamiento comercial.

Eucaliptos en Pampa Húmeda:

- existen algunos antecedentes sobre el uso de la fertilización de arranque, pero no se emplean actualmente a escala comercial.

Pinos en Patagonia (*P. ponderosa*)

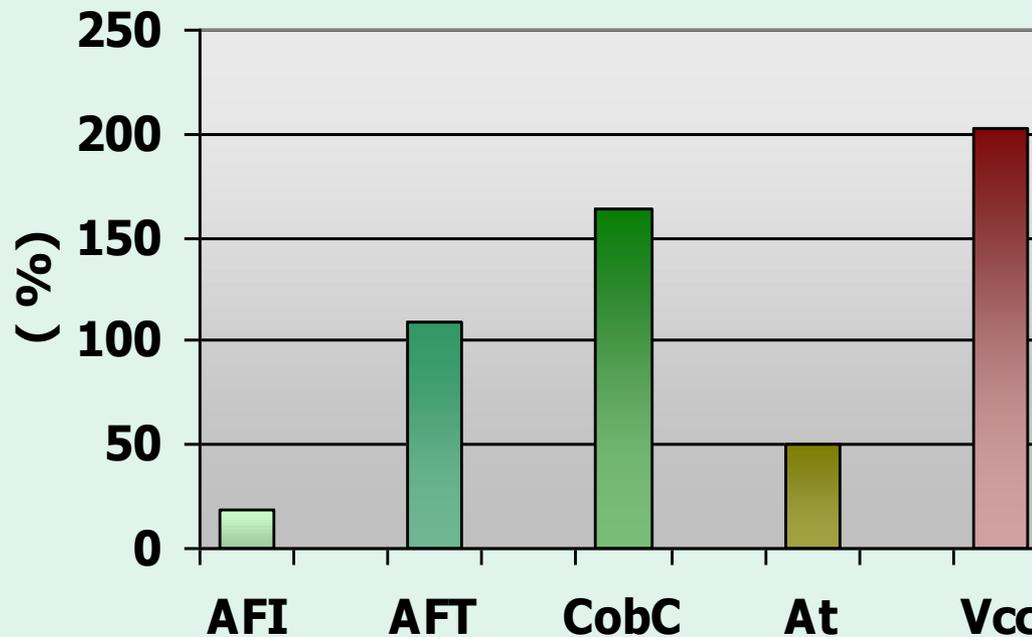
- no se emplean fertilizantes en las plantaciones, aunque sí se utilizan en la producción de plantines.

Estudio de caso I: Predictibilidad de respuesta inicial al turno.

efectos de la fertilización de arranque con N y P en plantaciones de álamo de la Pampa Humeda

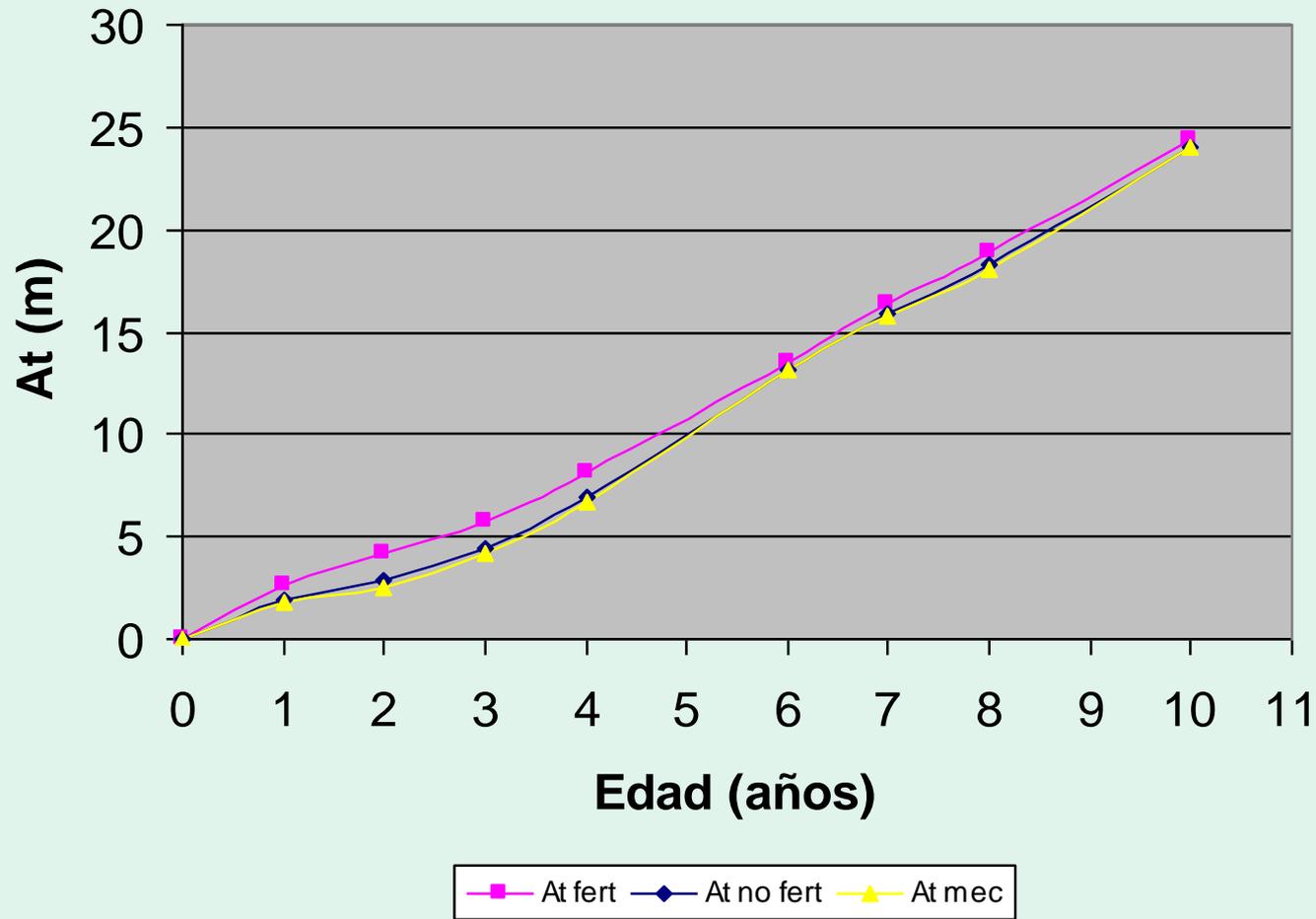


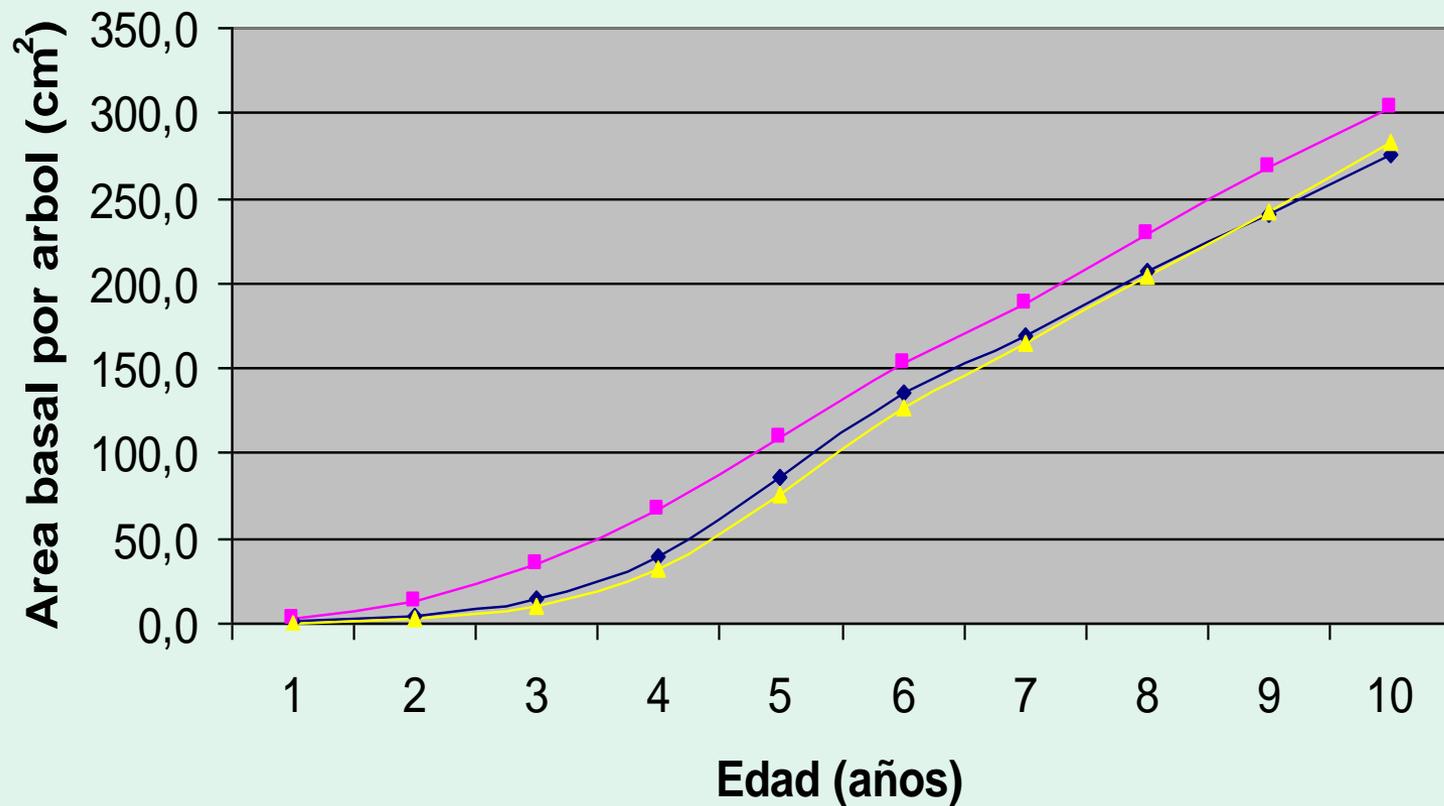
Alberti, Bs. As.
Efectos combinados del control químico mecánico y la fertilización de arranque con N y P.
Arriba izq., T-; arriba der., control mecánico, abajo izq. Control QM, abajo der. Control QM + fertilización
Primera estación de crecimiento.



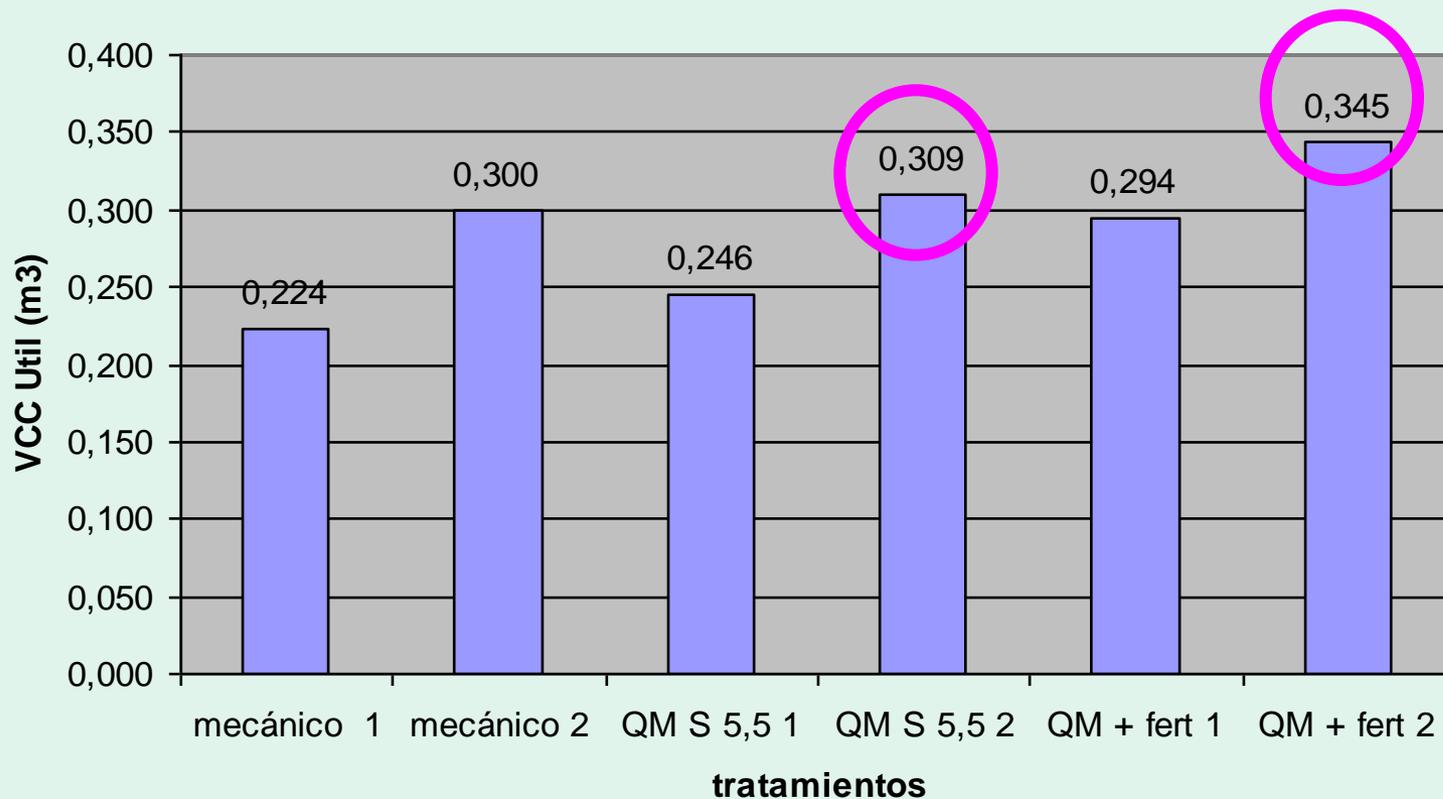
Alberti, Bs. As.: Respuesta de *P. deltoides* 'Delta Gold' al segundo año de crecimiento; diferencia porcentual entre el tratamiento de control de malezas con fertilización y el testigo (control sin fertilización).

(Horizonte superficial: 2,52% de MO, 0,12% N total, 8,5 mg.kg⁻¹ P extractable, 2 cmol.kg⁻¹ K intercambiable, pH 7,4, textura franca).





◆ sin fertilizar ■ fertilizado ▲ mecánico



Diferencias *marginalmente* significativas ($0,0515 \leq p \leq 0,0610$) en favor de las parcelas fertilizadas sobre las no fertilizadas para el DAP, el VCC total y el VCC útil, no así para la altura total.

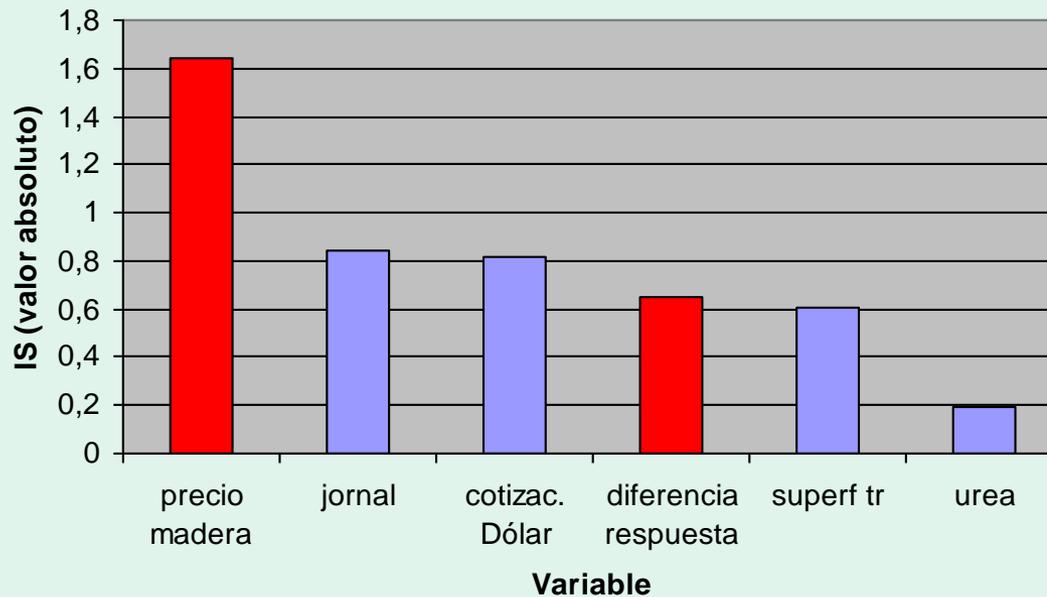
las estimaciones de toneladas útiles resultaron:

- rodal fertilizado: 234,2 t/ha
- rodal no fertilizado: 204,1 t/ha

Análisis económico-financiero.

- El VAN de la fertilización efectuada en 1998 es = - 804,11.
- Análisis de sensibilidad (reducción del 10% en variables).

$$IS = (d \text{ VAN} / \text{VAN inic.}) / (d \text{ Var } x / \text{Var } x \text{ inic.})$$



Las columnas azules indican una variación positiva del VAN y las columnas rojas una variación negativa.

Estudio de caso II:

Utilidad de las herramientas de diagnóstico integradas e importancia de la fertilización balanceada

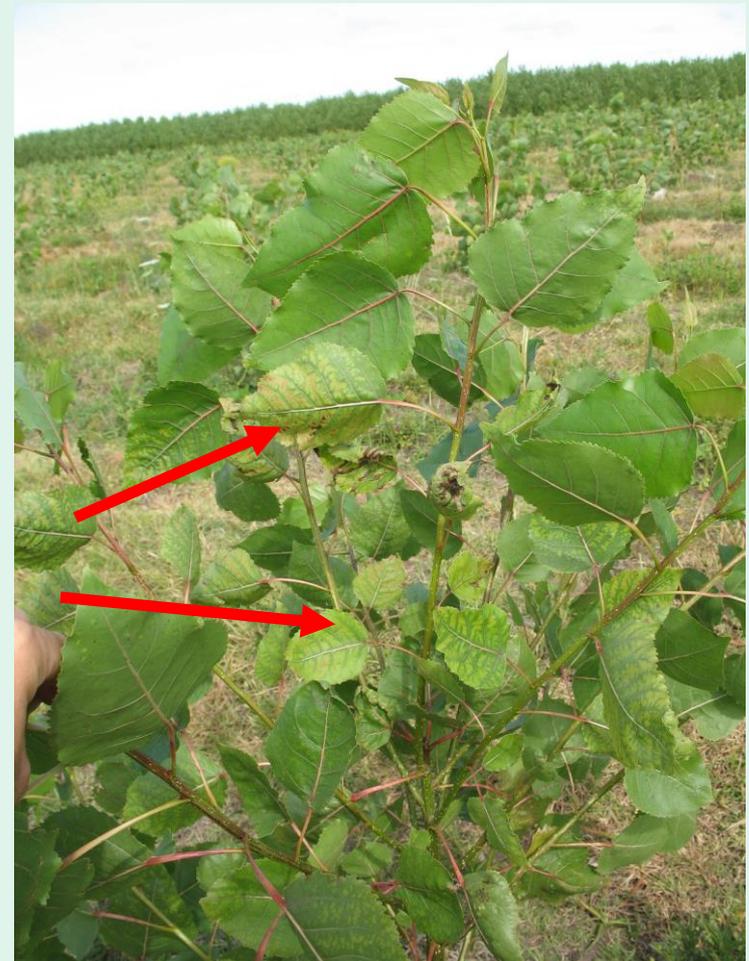
Antecedentes con álamo en Bragado.

- cuando se fertilizaba con N y P podían aparecer síntomas de deficiencia que no eran ni a N ni a P.
- las respuestas obtenidas con N y P eran inferiores a las esperadas (en algunos casos las fertilizadas crecían menos que las no fertilizadas)
- se indagó sobre la deficiencia de otros nutrientes

1° -Diagnóstico foliar

Some principles of visual diagnosis of nutritional disorders

Plant part	Prevailing symptom	Disorder	
<i>Deficiency</i>			
Old and mature leaf blades	Chlorosis	Uniform	N (S)
		Interveinal or blotched	Mg (Mn)
	Necrosis	Tip and marginal scorch	K
		Interveinal	Mg (Mn)
Young leaf blades and apex	Chlorosis	Uniform	Fe (S)
		Interveinal or blotched	Zn (Mn)
	Necrosis (chlorosis)		Ca, B, Cu
	Deformations		Mo (Zn, B)
<i>Toxicity</i>			
Old and mature leaf blades	Necrosis	Spots	Mn (B)
		Tip and marginal scorch	B, salt (spray injury)
	Chlorosis, necrosis		Nonspecific toxicity



Clave para el diagnóstico de deficiencia o toxicidad de nutrientes en base a síntomas foliares (tomado de Marschner, 1998).

Síntomas de deficiencia relativa en Zn inducida por la fertilización nitrogenada y fosforada, álamo de un año de edad, Alberti, Bs.As.

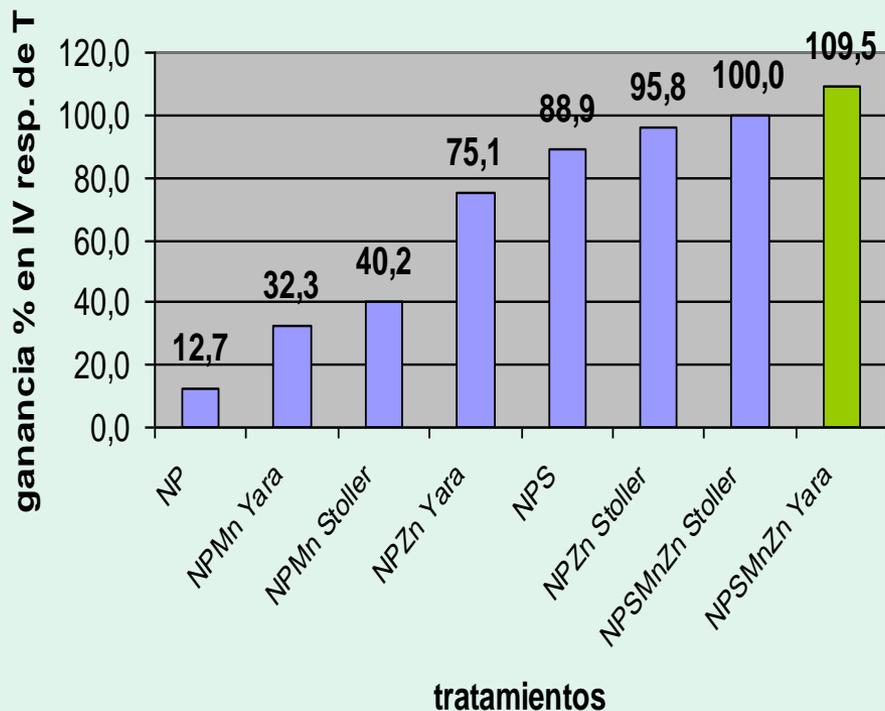
2° -Diagnóstico por análisis suelos

María Dolores		
Sector VI-10		
Profundidad	0-25 cm	25-50 cm
Mat. Org. %	2,90	1,55
N total %	0,135	0,074
P extr. mg.kg ⁻¹	7,69	4,87
Sulfatos extr. mg.kg ⁻¹	5,80	4,10
Zn disp. mg.kg ⁻¹	1,57	0,64
Mn disp. mg.kg ⁻¹	66,4	41,9

Elección del sitio de ensayo a partir de análisis de suelos

3° - Ensayo de tratamientos correctivos

Los tratamientos correctivos con S y Zn incrementaron la respuesta al N y P.



El tratamiento con la barra verde es el único con diferencias estadísticamente significativas respecto del testigo.



Bibliografía:

- Binkley, D. (1993). Nutrición forestal: Prácticas de manejo. Ed. Uteha, México. Capítulo 5, pp. 135-163.
- Daniel T.W., Helms J.A. y Baker F.S. (1982). Principios de Silvicultura. MacGraw Hill. Cap. 17, pp. 407-426.
- Echeverría, H. y F. García (Eds.) (2005). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. INTA – INPOFOS, Buenos Aires, Capítulo 22, pp. 445-454.
- Snowdon, P. (2000). Soil-based information for developing sustainable plantation forestry in Australia. Plantation growth as a measure of site productivity and soil change. Final Report for Forest and Wood Products Research and Development Corporation. CSIRO Forestry and Forest Products 42 pp.