



Congreso Uruguayo de  
**Suelos 2014**  
VI Encuentro de la SUCS  
6 al 8 de Agosto de 2014  
Hotel Sheraton - Colonia, Uruguay



## Manejo sustentable de suelos bajo forestación: desafíos y alternativas posibles

Jorge Hernández  
Prof. Agregado del Dpto. de Suelos y Aguas  
Facultad de Agronomía – UdelaR

Apoyo financiero: UdelaR, Weyerhaeuser S.A., UPM, ENCE, Stora Enso,  
Montes del Plata, Cambium, RMK, FAS, Grupo Forestal, COFUSA,  
FYMNSA, Sierras Calmas

### Introducción

- Ley N° 15.939: Promoción de la actividad forestal
- Superficie forestada bajo proyecto:  
Año 1989: 38.000 hás. → Año 2012: 990.000 hás
- Significó cambios en los sistemas de producción tradicionales:  
Agrícola/Ganadero → Forestal

→ ¿Qué consecuencias tuvieron estos cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo?

⇒ **Importancia de cuantificar estos procesos, con el objetivo de manejar los cambios y mantener la sustentabilidad productiva y ambiental del sistema**

**El uso permanente del suelo, ¿es un costo efectivamente considerado en el sistema?**

### Aspectos abarcados en los estudios

- Extracción, exportación y reciclaje de nutrientes.
- Limitantes nutricionales y sus correcciones.
- Cambios en parámetros químicos, físicos y biológicos del suelo.
- Dinámica del agua en el suelo.
- Efecto del laboreo en parámetros de crecimiento y conservación de suelos.

Extracción y exportación de nutrientes en  
plantaciones de eucalipto y pino

## Características químicas y oferta de nutrientes de los suelos de prioridad forestal

- Medios a bajos contenidos de arcilla
- Bajos contenidos de materia orgánica (N, S)
- Ácidos a muy ácidos
- Bajos niveles de Bases de Intercambio: Ca, Mg, K y Na
- Bajos contenidos de P y otros nutrientes (B)

⇒ suelos de baja fertilidad natural (Grupos CONEAT 2, 7, 8 y 9)

⇒ suelos marginales para otras producciones

⇒ el margen entre Oferta y Demanda de nutrientes es más estrecho que para suelos bajo uso agrícola

## Exportación absoluta de nutrientes en madera comercial de *Eucalyptus sp.* y *Pinus taeda*

Factores: densidad, especie, suelo, duración de la plantación, método de cosecha, etc.

Plantaciones a término (10 años)	Árboles ha <sup>-1</sup>	Biomasa comercial Mg ha <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg
			kg ha <sup>-1</sup>				
<i>E. grandis</i> (1)	1030	189	117	9	80	284	32
<i>E. globulus</i> (2)	970	107	44	5	35	138	26
<i>E. maidenii</i> (3)	1050	199	91	13	65	322	49
<i>E. dunnii</i> (4)	1200	144	132	19	86	240	98
<b>PROMEDIO</b>	<b>1063</b>	<b>160</b>	<b>96</b>	<b>12</b>	<b>67</b>	<b>246</b>	<b>51</b>
<i>P. taeda</i> (15 años)(5)	200	190	157	31	56	106	35

(1) Giosa (2009); (2) Varela (2009); (3) González (2008); (4) Hernández et al., (2009); (5) del Pino et al., (2009)

Distribución porcentual de biomasa y nutrientes en diferentes componentes de cosecha de *Eucalyptus sp.*

Componente	Biomasa %	N	P	K	Ca	Mg
		% por componente				
Madera	70	27	41	18	17	34
Restos de cosecha	30	73	59	82	83	66

\* *E. globulus*, *E. maidenii* (González, 2008); *E. dunnii* (Hernández et al., 2009)

Exportación porcentual de biomasa y nutrientes según diferentes escenarios para *Eucalyptus sp.*

Componente	Biomasa %	N	P	K	Ca	Mg
		% del total extraído				
Madera	70	27	41	18	17	34
Madera + corteza	82	47	66	59	76	74
Madera + Corteza + Ramas	96	67	78	85	92	90
Total	100	100	100	100	100	100

\* *E. globulus*, *E. maidenii* (González, 2008); *E. dunnii* (Hernández et al., 2009)

Exportación anual promedio de nutrientes en diferentes cultivos						
Especie	Biomasa Ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	N	P	K	Ca	Mg
		kg ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>				
Alfalfa (*)	10	200	20	170	125	24
Maíz (planta entera) (*)	20	260	46	172	31	31
Maíz (grano) (*)	10	150	27	37	2	9
Trigo (grano) (*)	3	56	13	14	1	7
Soja (*)	2.5	128	13	39	7	6
<i>E. dunnii</i> (SC) (**)	16	15	2	10	27	11
<i>E. dunnii</i> (CC) (**)	(19)	22	3	24	114	18
<i>E. dunnii</i> (biomasa total) (**)	(28)	55	6	52	166	27

**Importancia: tipo de suelo de cada sistema fertilización** (\*Spring, 1979; IIP, 2011)  
(\*\*Hernández et al., 2009)

Consecuencias de las exportaciones de nutrientes sobre parámetros del suelo

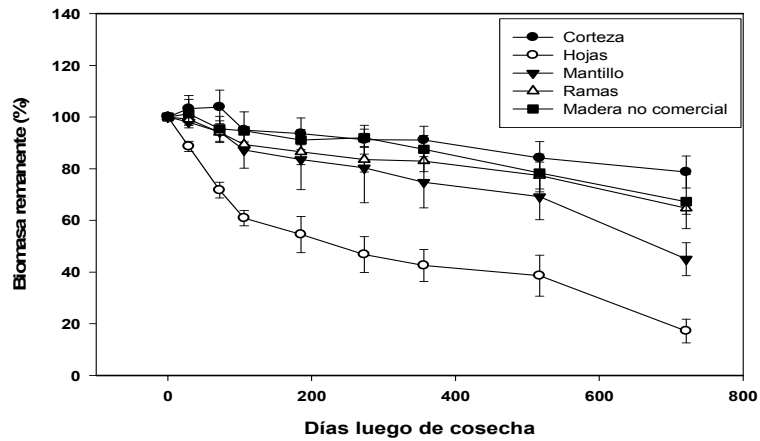
Parámetros químicos de un Acrisol del grupo CONEAT 7 bajo pasturas y un turno de plantación de *E. grandis* de 15 años (promedio de 4 sitios)

Hor.	Uso	pH	Ca	Mg	K	Na	BT	A.I.	CIC	SB	COS
			cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>						%	g kg <sup>-1</sup>	
A	Past	4.9	1.25	0.49	0.23	0.39	2.35	0.52	2.88	83	11.7
	For.	4.4	0.59	0.30	0.15	0.30	1.34	1.29	2.62	51	11.0
B	Past	4.8	2.05	1.01	0.36	0.41	3.82	1.87	5.69	71	8.3
	For.	4.5	1.40	0.87	0.19	0.36	2.82	3.21	6.04	48	8.5

(Cabrera y Cal, 2008)

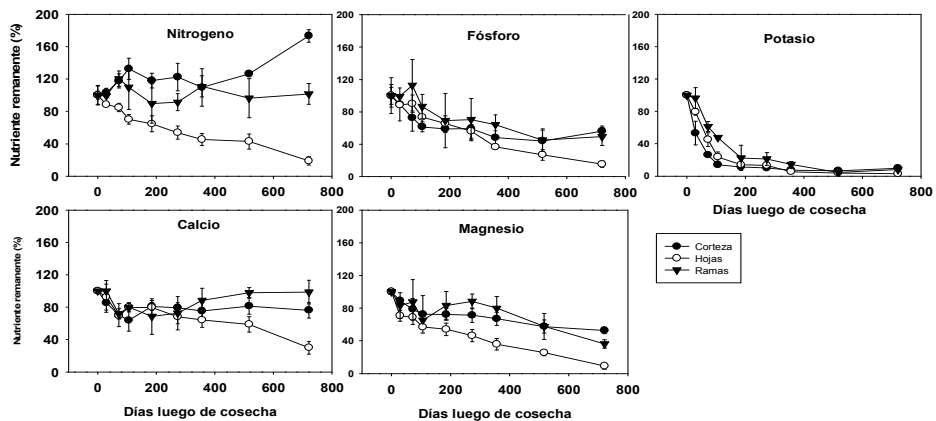
Reciclaje de nutrientes a partir de biomasa no comercial del bosque

## Descomposición de restos de cosecha de *E. dunnii* en función del tiempo



(Hernández et al., 2009)

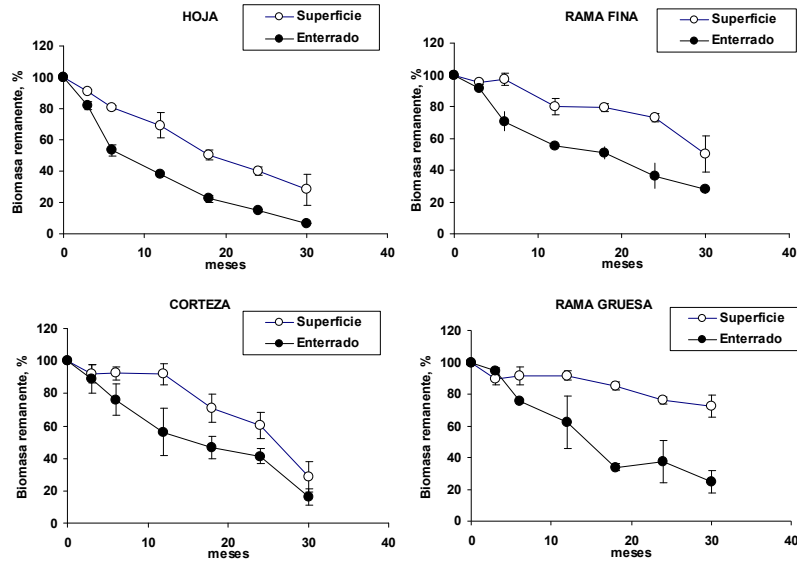
## Evolución del contenido de nutrientes en los restos de cosecha de *E. dunnii* en función del tiempo



(Hernández et al. 2009)

Cantidades liberadas a partir de los restos en los 2 años, en kg ha<sup>-1</sup>:  
 N: 176; P: 20; K: 375; Ca: 460; Mg 92.

## Descomposición de restos de cosecha de *E. grandis* según modalidad de gestión



(Hitta y Lorenzo, 2012)

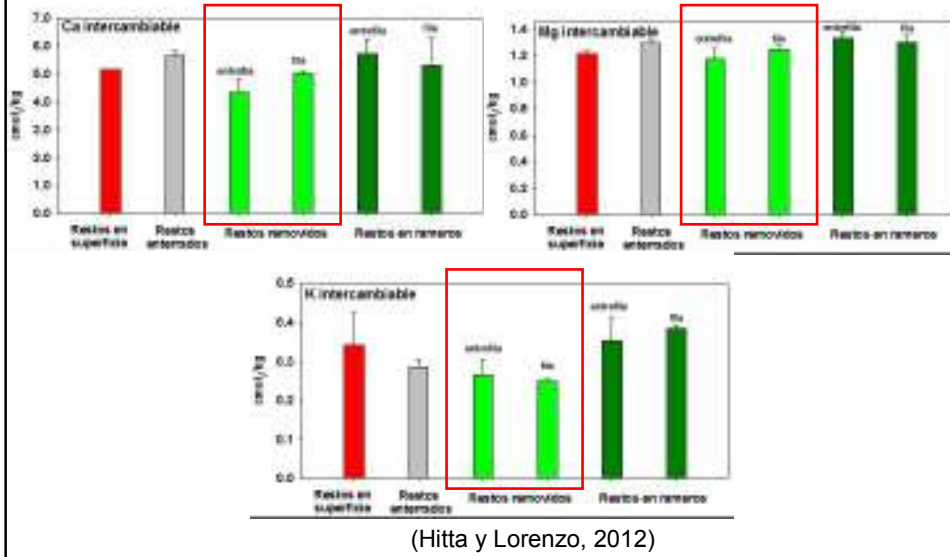
## Aporte de nutrientes del mantillo forestal

Especie	Año	Biomasa	C	N	P	K	Ca	Mg
		Mg ha <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>				
<i>E. dunnii</i>	0	18	9	114	8	34	357	28
	2	8	4	105	7	9	232	11
<i>P. taeda</i>	0	14	7	113	6	14	61	8
	2	11	5	118	1	4	33	4

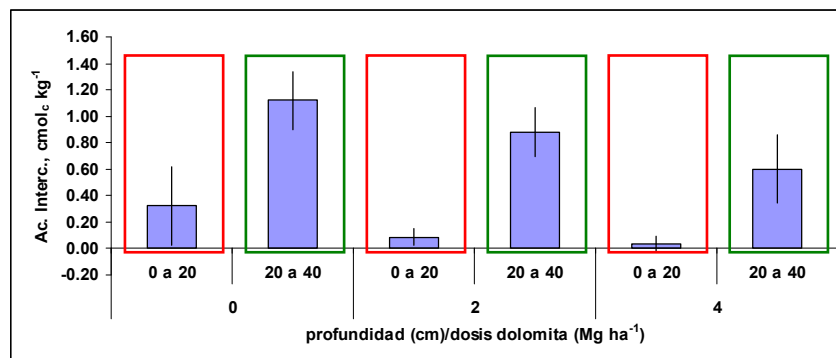
(Hernández et al., 2012)



## Remoción de restos vs permanencia en el sitio: efecto en la concentración de cationes

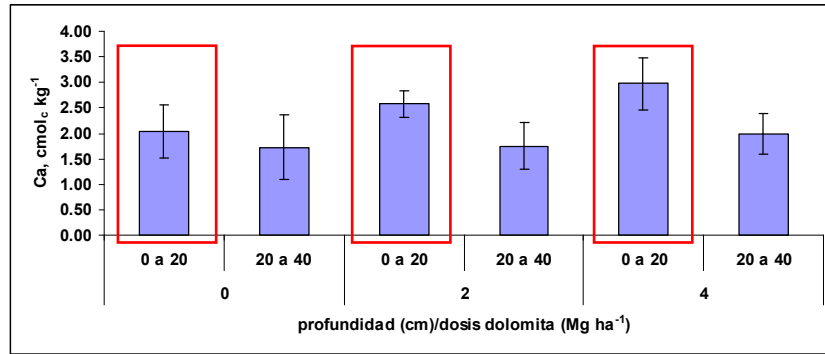


## Efecto de la aplicación de dolomita en la acidez intercambiable del suelo a los 24 meses Argisol Algorta



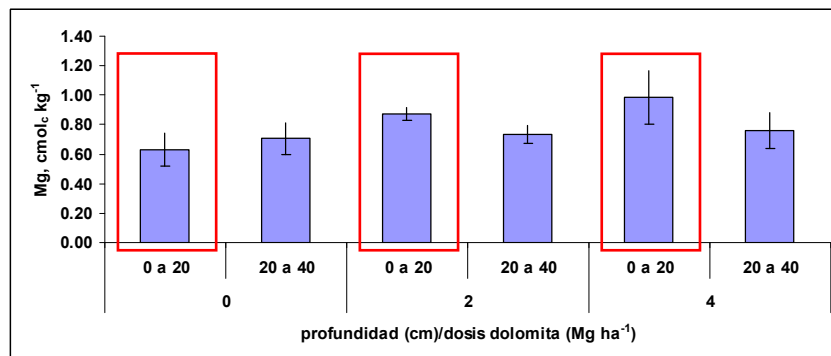
(Hernández et al., 2013)

### Efecto de la aplicación de dolomita en el Ca intercambiable del suelo a los 24 meses Argisol Algorta



(Hernández et al., 2013)

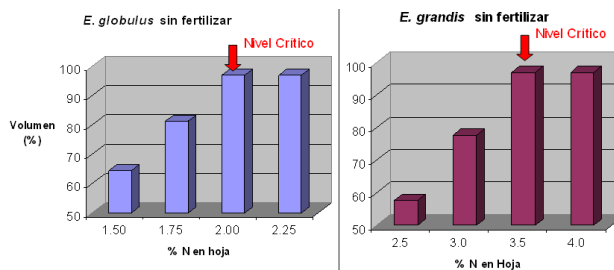
### Efecto de la aplicación de dolomita en el Mg intercambiable del suelo a los 24 meses Argisol Algorta



(Hernández et al., 2013)

## Limitantes nutricionales en la implantación de eucalipto

### Contenido de N foliar a los 6 meses postransplante

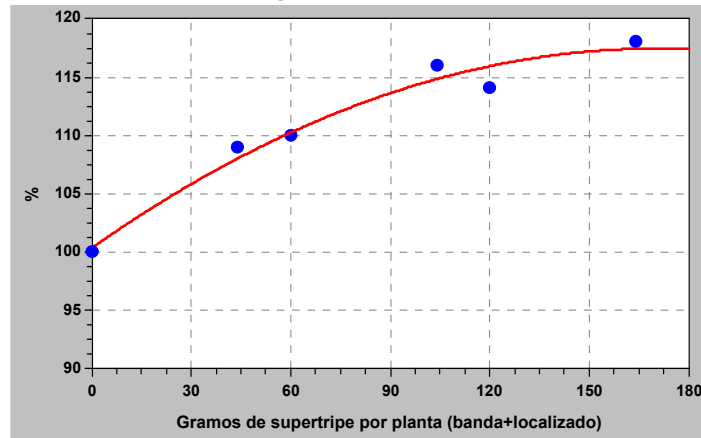


(Perdomo, Durán, Llovet, 2007)

- Tanto en *E. globulus* como en *E. grandis*, a medida que el % de N de hoja aumenta
  - se incrementan los rendimientos de volumen sin fertilizar
  - disminuyen los incrementos al agregado de N
- **No obstante: respuesta escasa y variable**

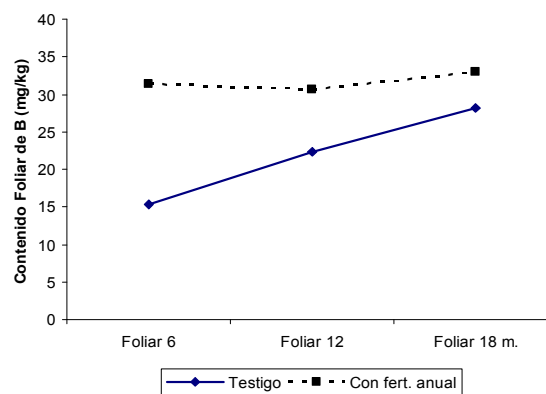
## Respuesta al agregado de P

Altura relativa al 1er año, promedio general de todos los sitios medido en Rendimiento Relativo (%). Testigo = 100%



(Zamalvide y Ferrando, 2007)

Concentración foliar de boro sin y con fertilización (promedio: 7 sitios, 3 momentos de muestreo).

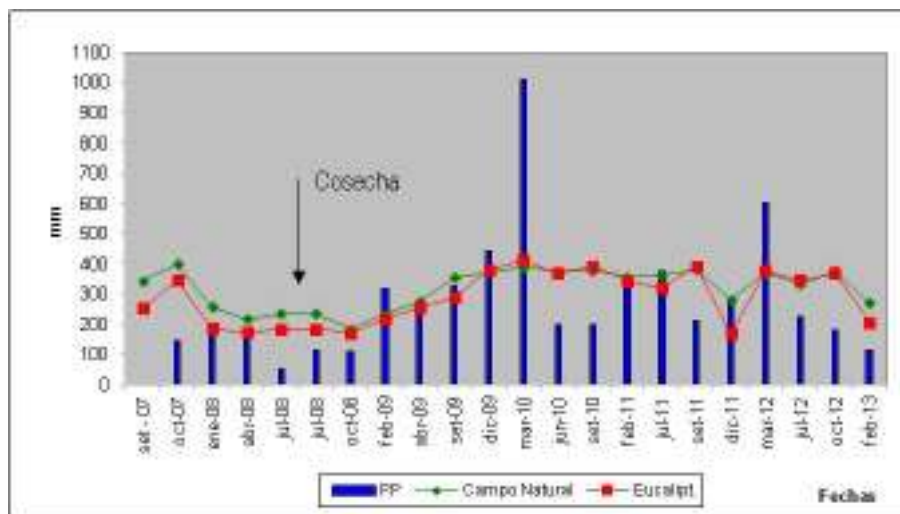


(Zamalvide y Ferrando, 2007)

**No obstante: situaciones de deficiencia momentáneas dependientes de situaciones climáticas ⇒ difícil predicción**

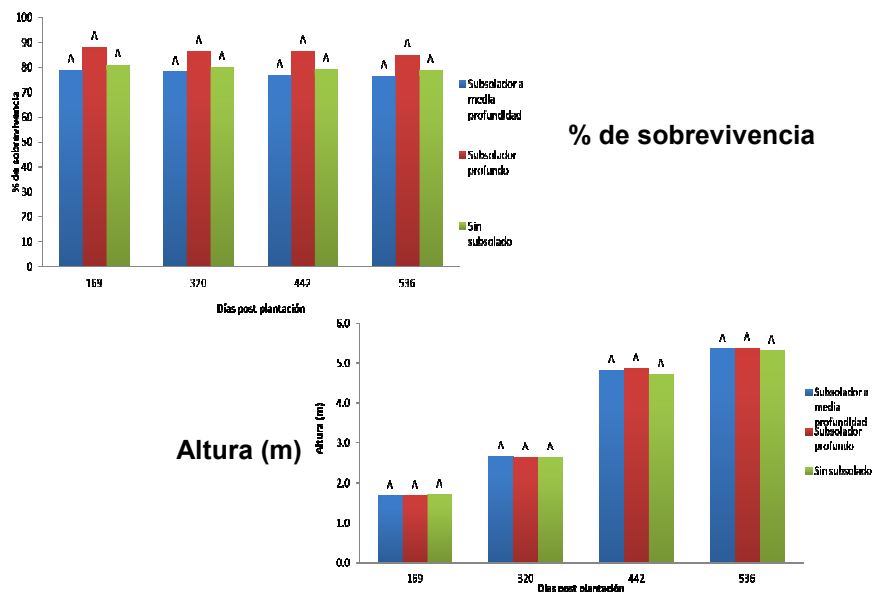
## Contenido de agua en el suelo

### Monitoreo del contenido de agua en el suelo bajo manejo forestal y pastoril (período 5 años)



(Martínez y Pérez Bidegain, 2013)

### Alternativas de laboreo pre-plantación – Suelo del Grupo CONEAT 2.11a



(Pérez Bidegain, González, Bentancor, 2013)

### En síntesis:

- Un alto porcentaje de los nutrientes extraídos por una plantación forestal se encuentra presente en los restos de cosecha (hojas/acículas, corteza y ramas) y el mantillo.
- La magnitud de la exportación de nutrientes con la cosecha de especies forestales es altamente dependiente del método de cosecha utilizado y/o utilización posterior de los restos.
- La cantidad de nutrientes reciclados a partir del mantillo y los restos de cosecha es variable en función del tiempo, el nutriente, el tipo de resto considerado, y la modalidad de gestión de ellos.

### En síntesis:

- La extracción total de biomasa tendría consecuencias importantes en la disponibilidad futura de nutrientes del suelo y sus propiedades, lo cual debe ser evaluado en futuras investigaciones.
- El uso de fertilizantes (N, P, B) y enmiendas (dolomita) permite corregir limitantes nutricionales, así como compensar las exportaciones de nutrientes del sistema, y atenuar el proceso de acidificación del suelo.
- Las diferencias en el contenido de agua en el suelo bajo forestación respecto a la vegetación de pasturas es mayor en las etapas de máximo desarrollo del bosque, bajas precipitaciones, y alta demanda atmosférica, recuperándose en la medida del aumento en las precipitaciones.
- El subsolado no mostró ventajas comparativas importantes respecto a laboreos convencionales con excéntrica en sobrevivencia ni en altura de plantas.

### Futuros estudios

- Evaluación del impacto de las producciones de biomasa forestal con fines energéticos en las propiedades del suelo y la sustentabilidad del sistema.
- Ajuste y validación de modelos de extracción de nutrientes para las condiciones de Uruguay.
- Ajuste y validación de modelos de erosión de suelos para las condiciones de Uruguay.
- Posibilidad de uso de efluentes de la industria de producción de celulosa o de cenizas de plantas de generación de energía como enmiendas que aporten nutrientes al suelo.

