



Qué es la fibra, cómo cuantificarla y por qué



AdiNature
Aditivos Naturales para
Alimentación Animal

Javier García

Dpto. Producción Agraria, ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas
Universidad Politécnica de Madrid

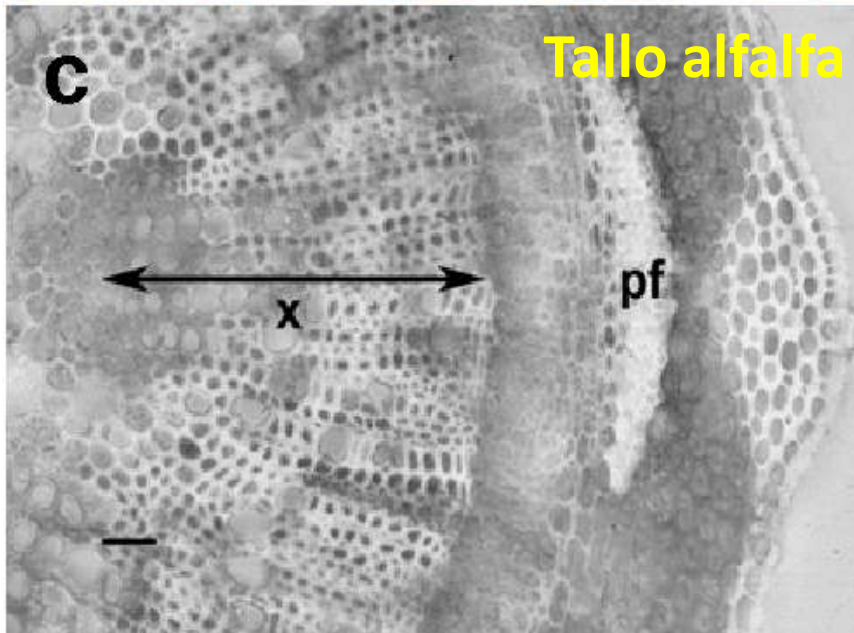
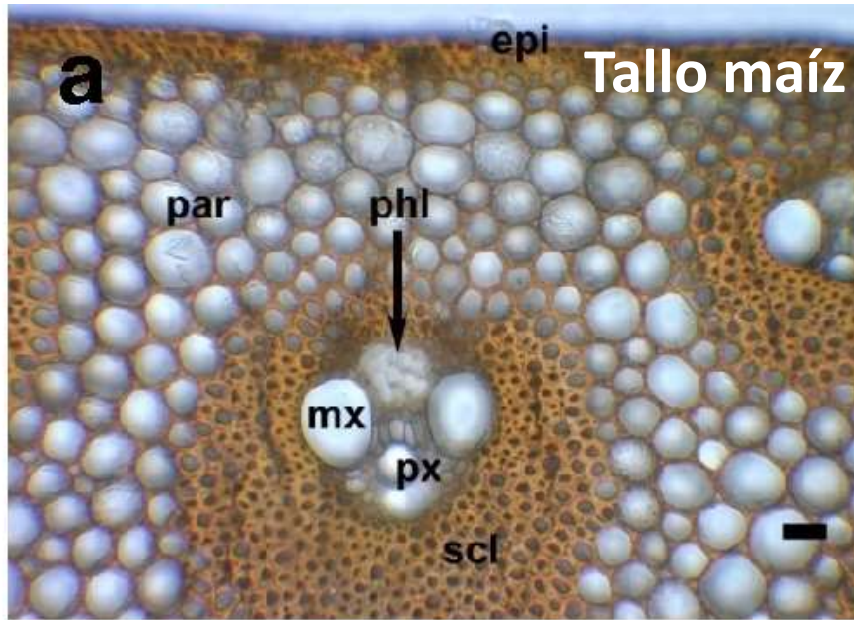
javier.garcia@upm.es

Qué es la fibra?

- Complejo definirla
- No es un compuesto 'perfectamente identificable'
- Combinación de compuestos muy distintos
- Está mayoritariamente en la pared celular de las células vegetales



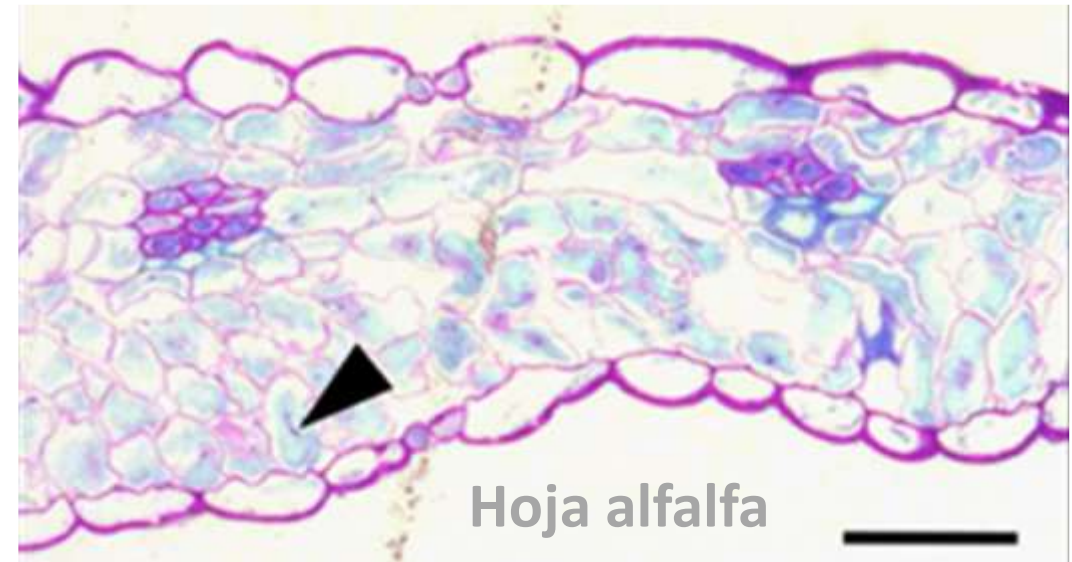
– **Enorme heterogeneidad estructural y química**



Control

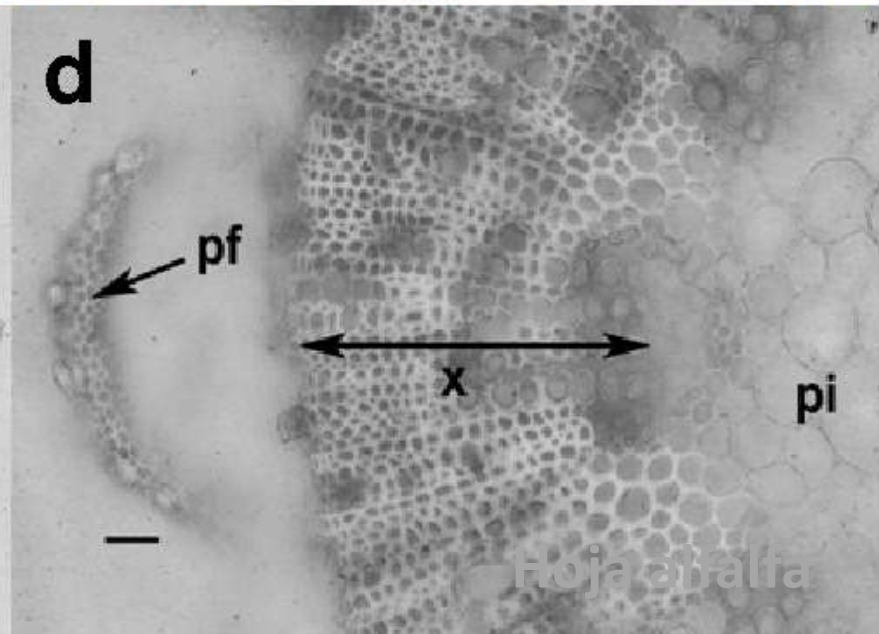
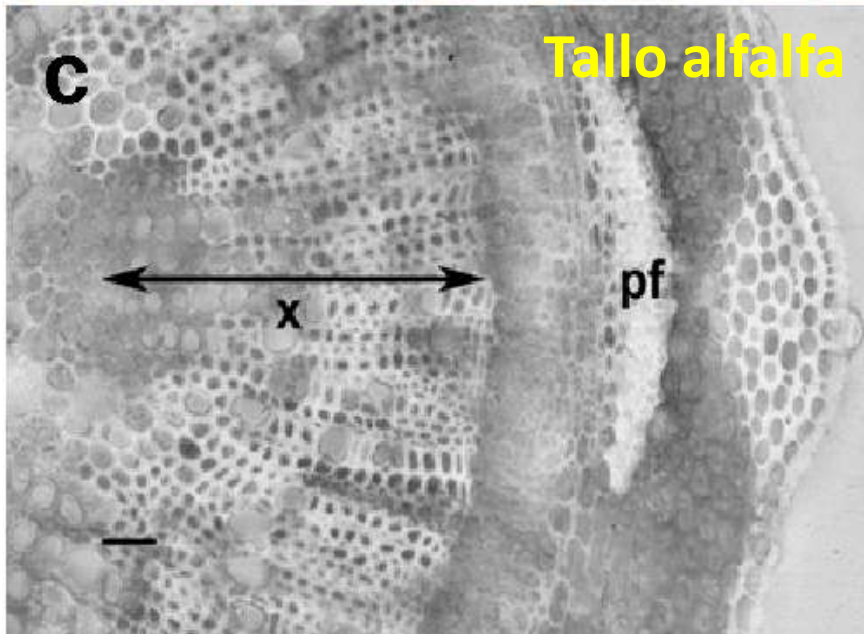
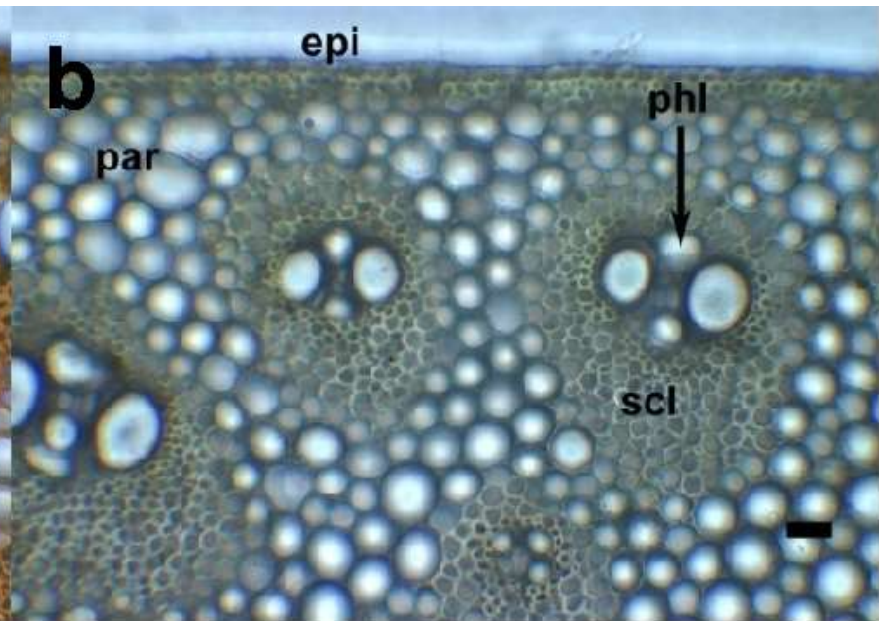
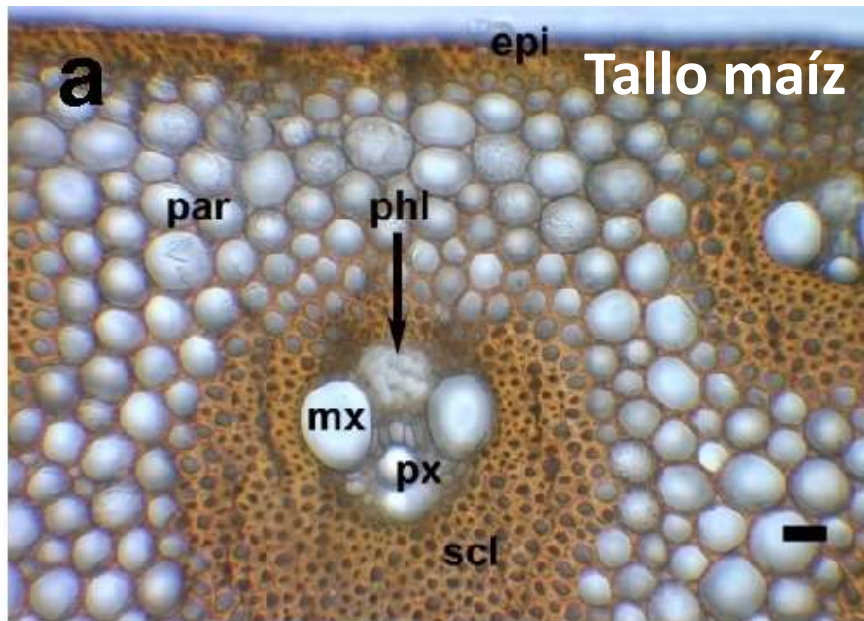
Las paredes celulares de las plantas varían:

- tejido planta (tallo vs. hoja vs. fruto)
- + función
- tipo de planta
- madurez



Tallo maíz:
Phl: floema
 Epi: epidermis
 Par: parénquima
 Px: protoxilema
 Mx: metaxilema
 Scl: esclerénquima

Tallo alfalfa:
Pf: floema
X: xylema
Pi: parénquima medular



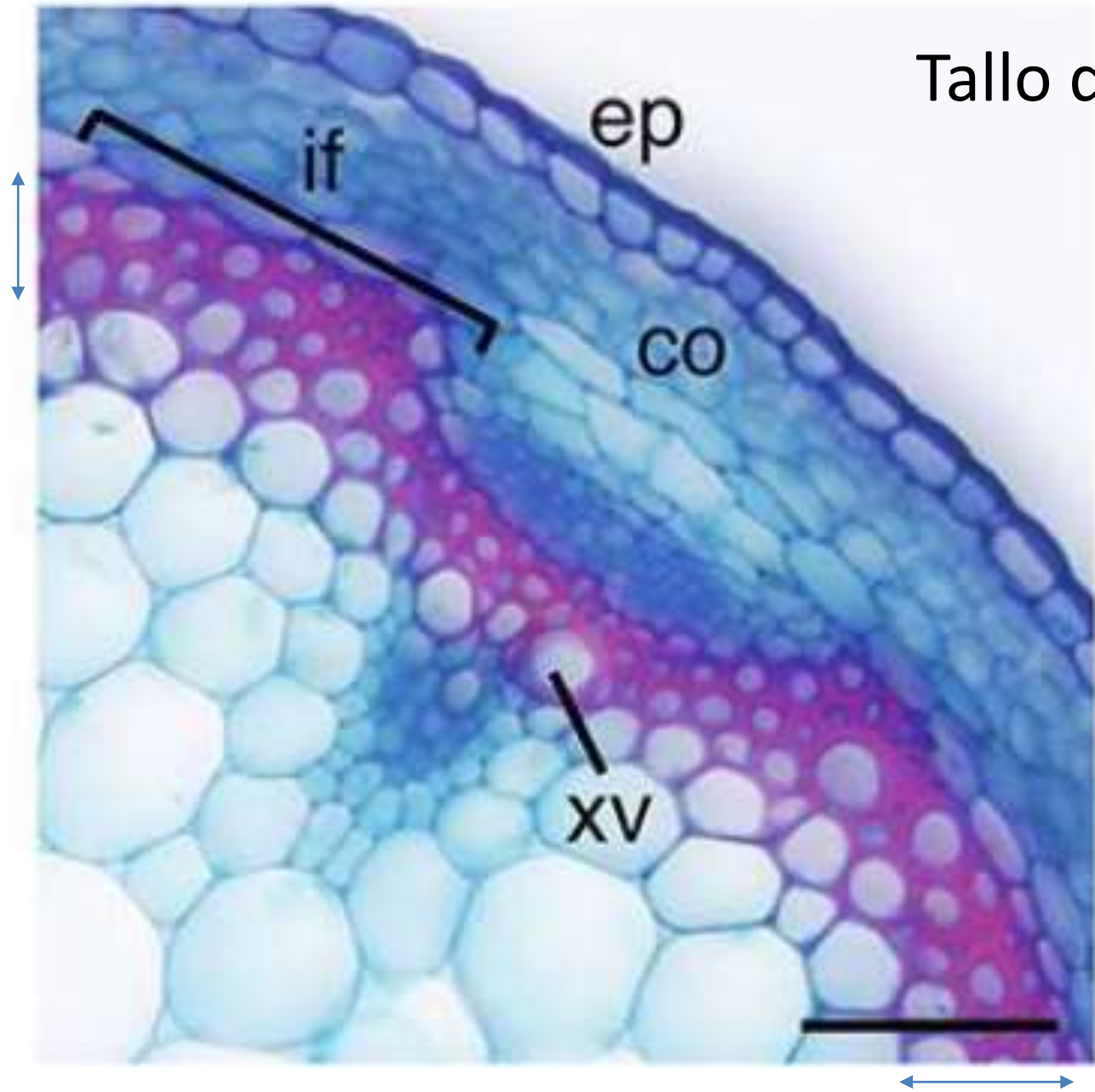
Tallo maíz:
Phl: floema
 Epi: epidermis
 Par: parénquima
 Px: protoxilema
 Mx: metaxilema
 Scl: esclerénquima

Tallo alfalfa:
Pf: floema
X: xylema
Pi: parénquima medular

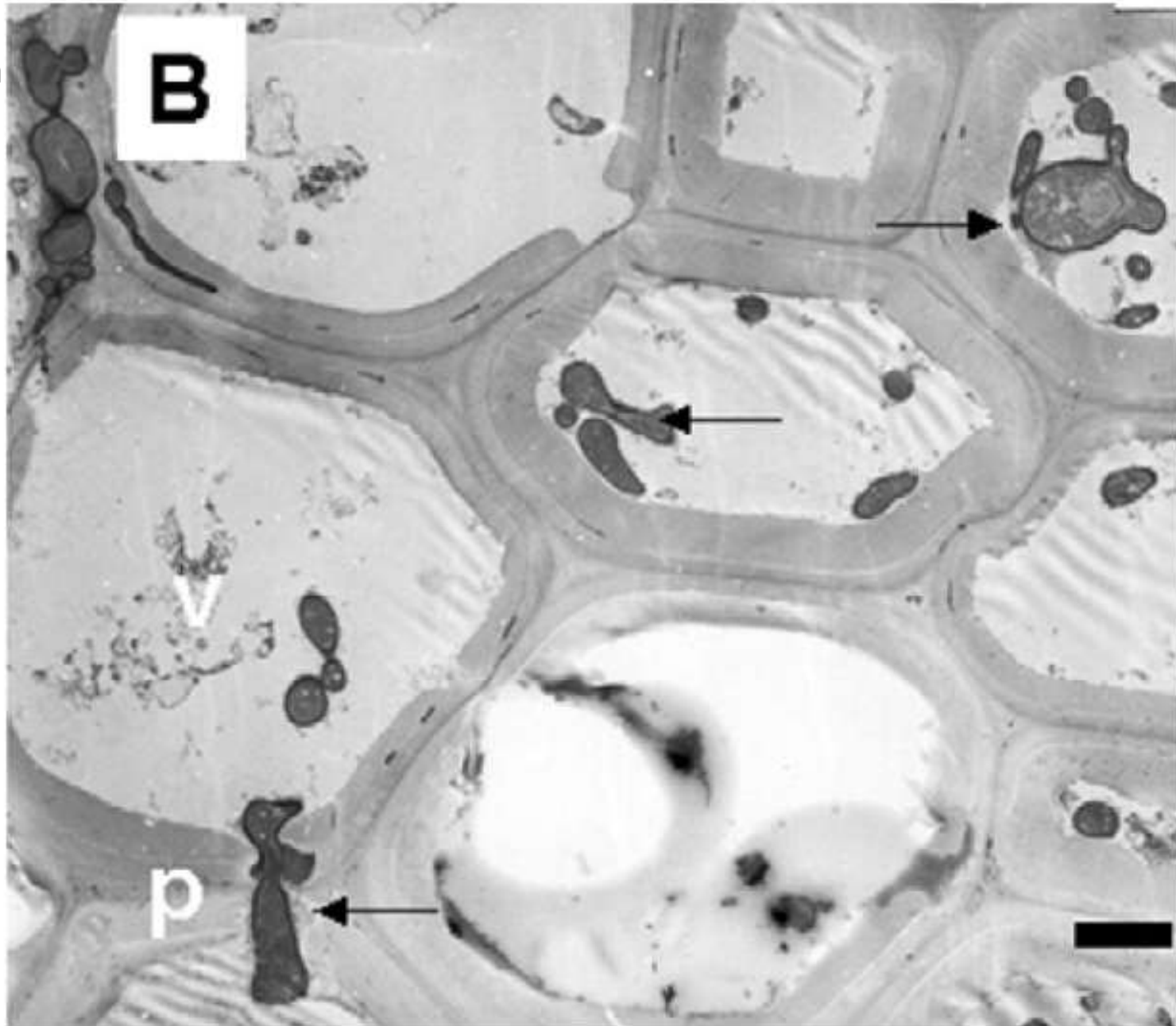
Control

Tras digestión ruminal

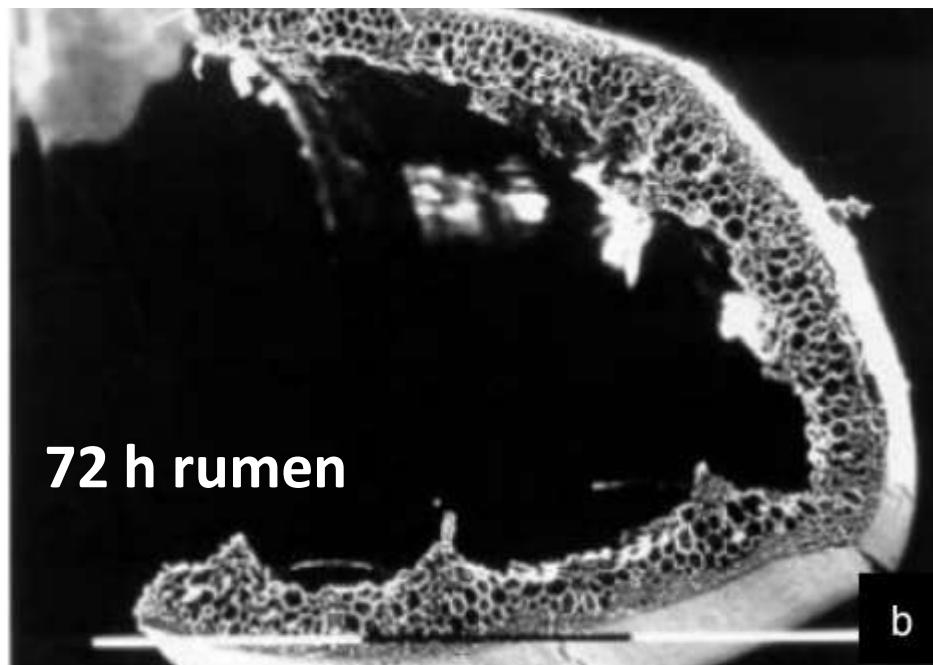
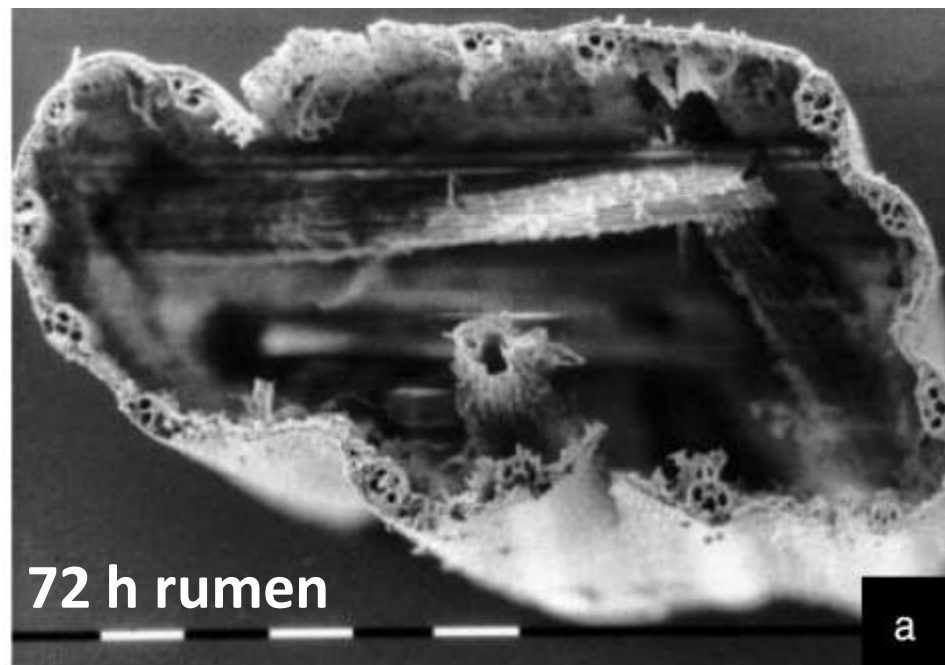
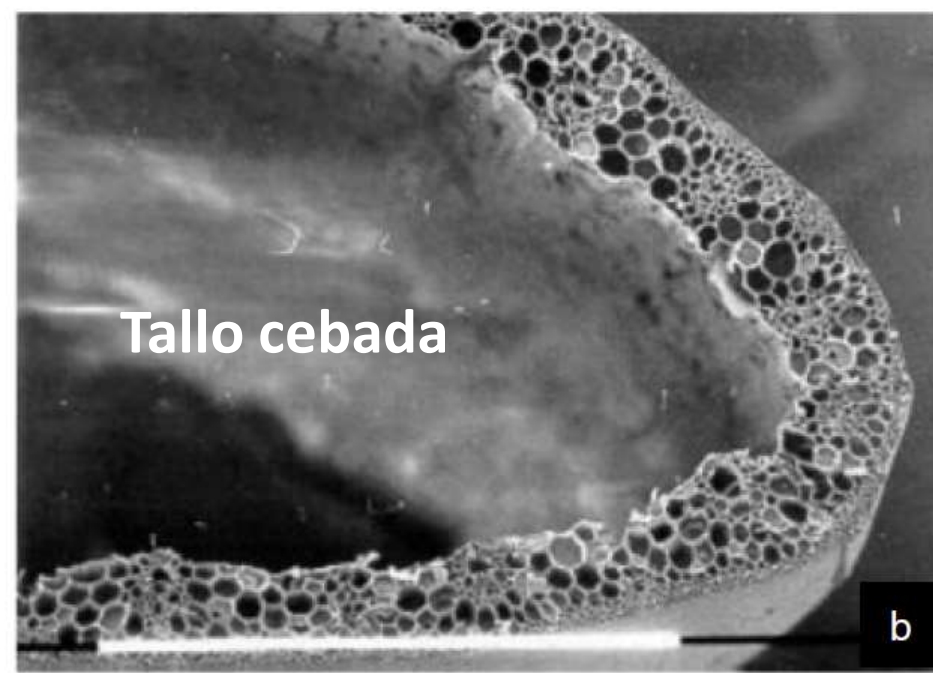
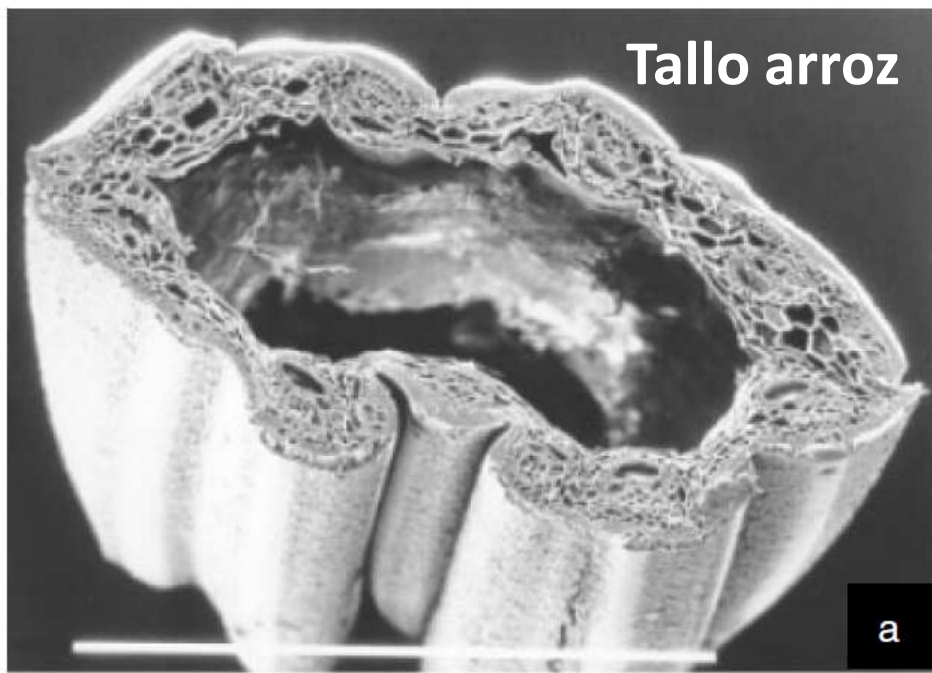
Tallo de *Arabidopsis*



Partícula de gramínea



Mathiesen et al., 2005

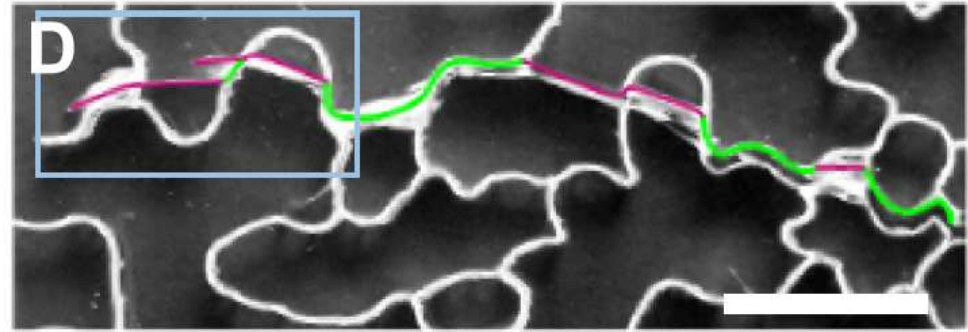
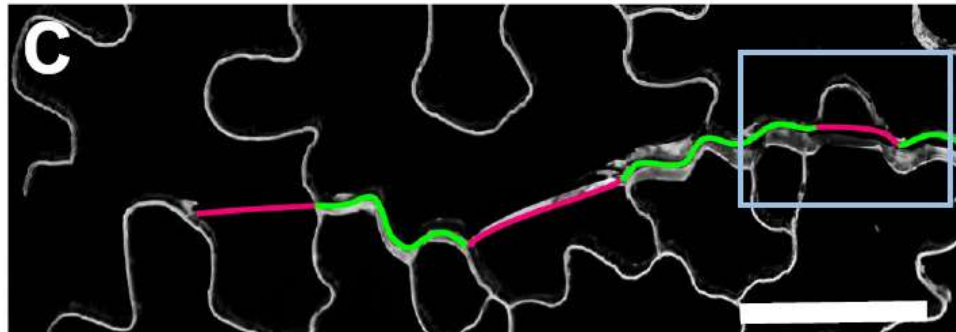
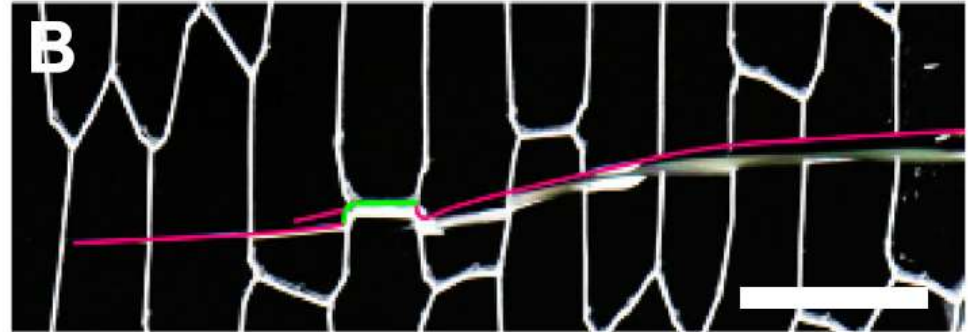
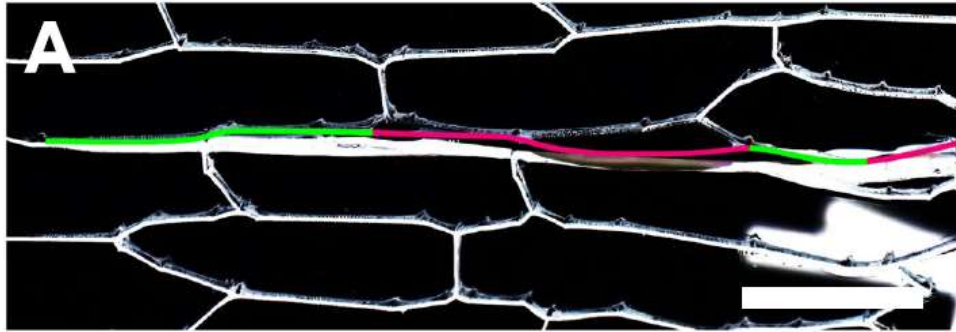


Características morfológicas vs. propiedades mecánicas

- Correlaciones significativas en gramíneas forrajeras:
 - **Resistencia a la tracción y al cizallamiento aumenta con:** [Zhang et al., 2004](#)
 - Área de la sección transversal
 - Nº haces vasculares principales
 - Área de esclerénquima
 - **Energía requerida para la rotura aumenta con:** [Wright e Illius, 1995](#)
 - Proporción de esclerénquima
 - Contenido en FAD, FND y LAD

Características morfológicas vs. propiedades mecánicas

- Resistencia de la epidermis a la rotura: [Bidhendi et al., 2023](#)
 - Forma de las células:
 - Forma ondulada y disposición en rompecabezas



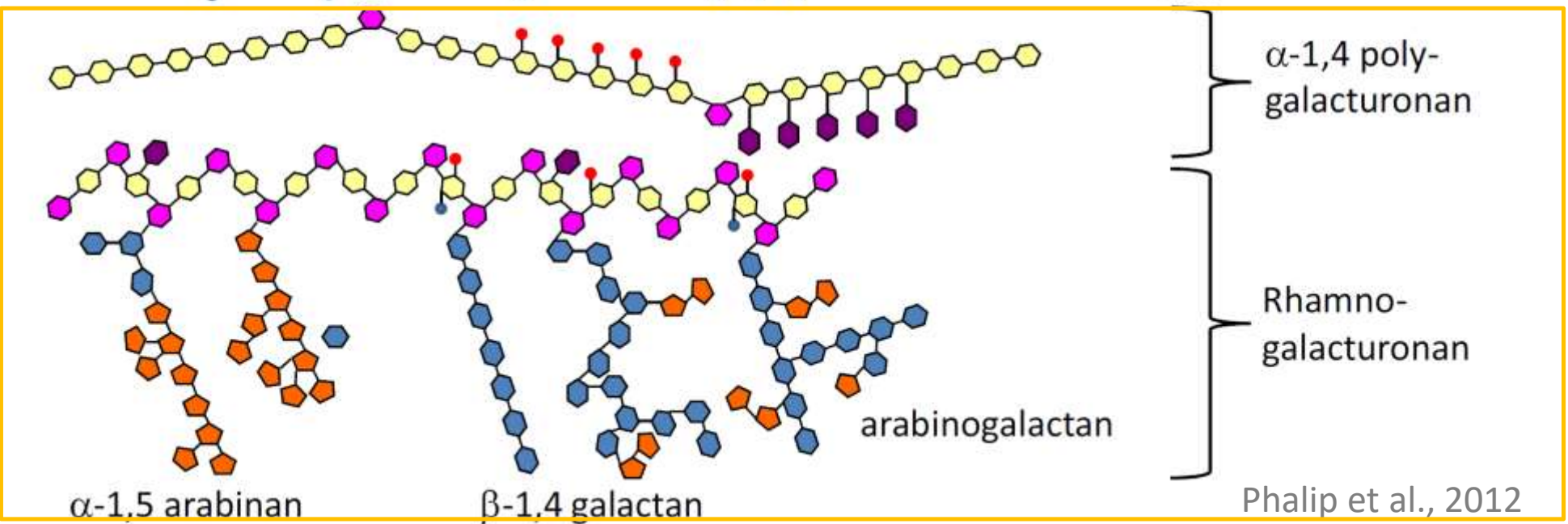
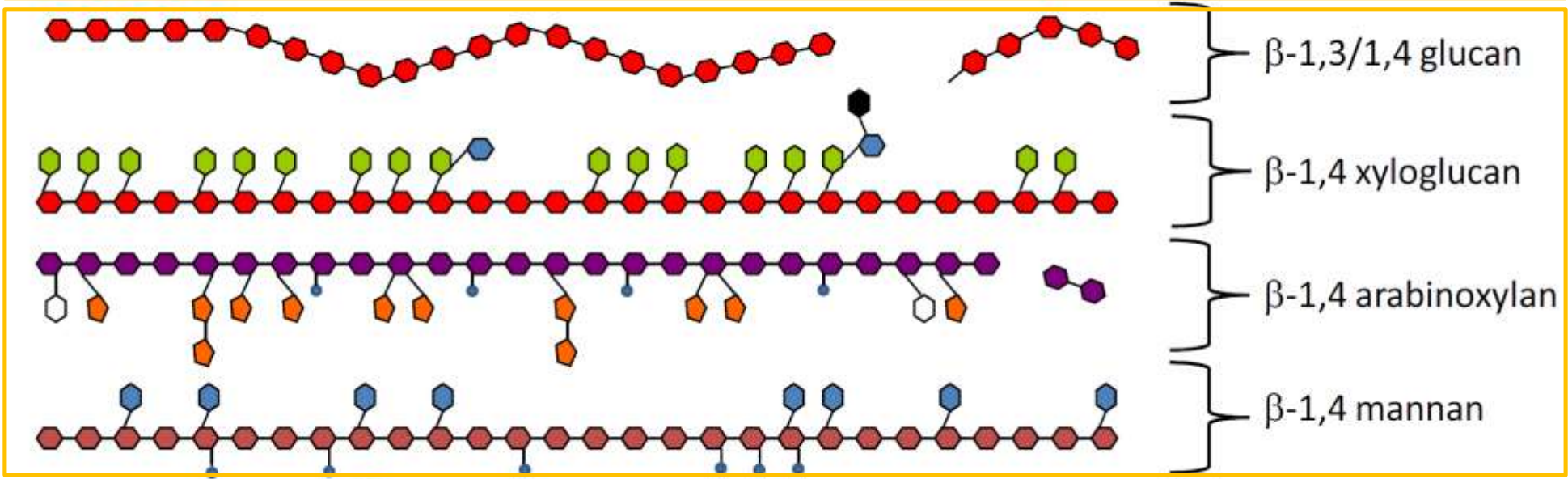
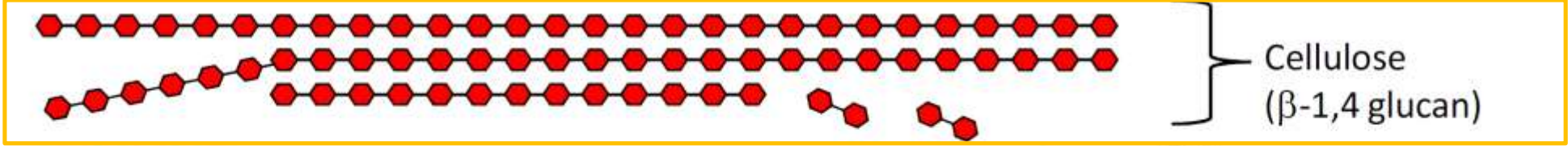
Pared celular vegetal

- **Biopolímeros**

- Polisacáridos estructurales
- Compuestos fenólicos
- Proteínas

- **Funcionalidad**

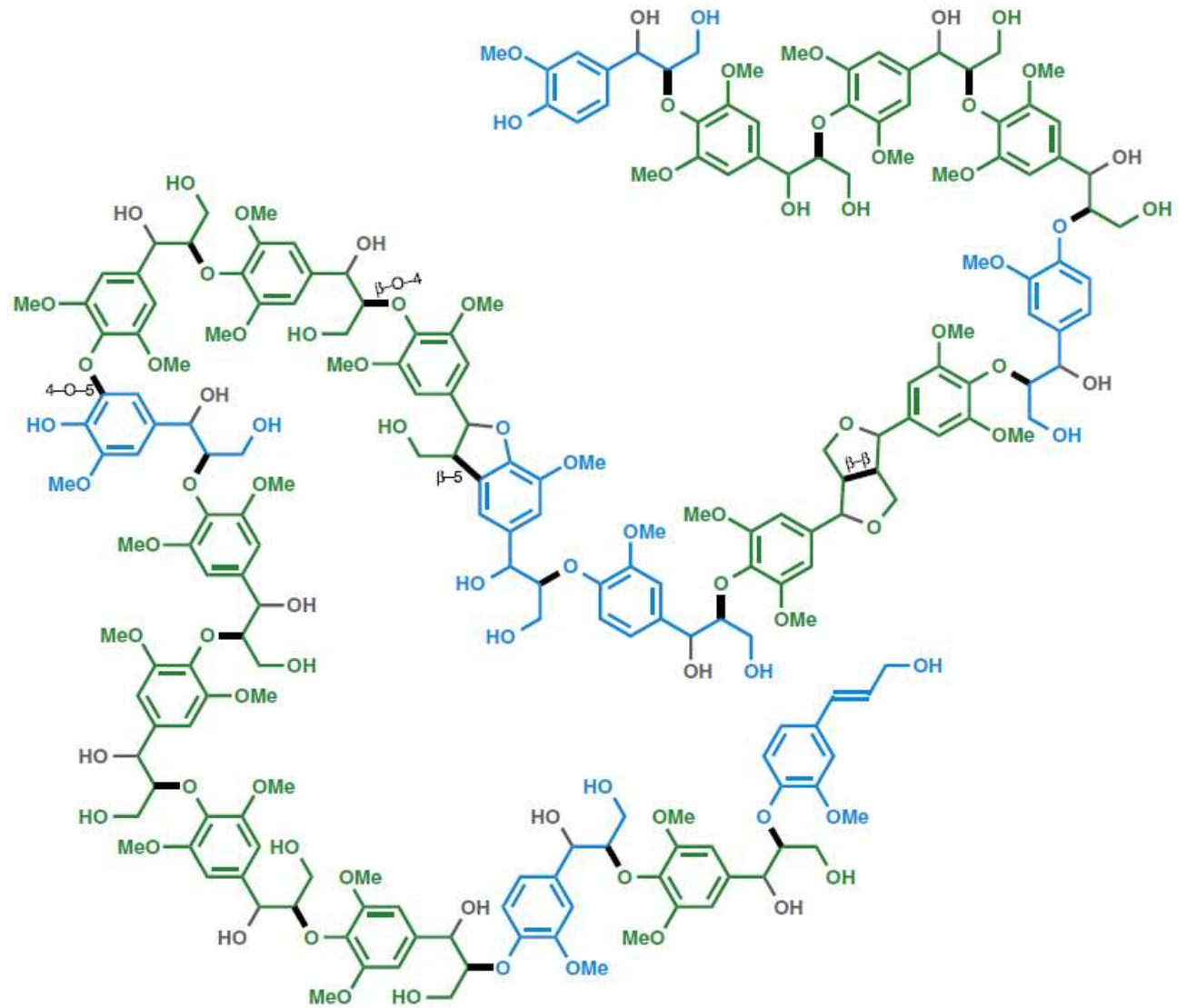
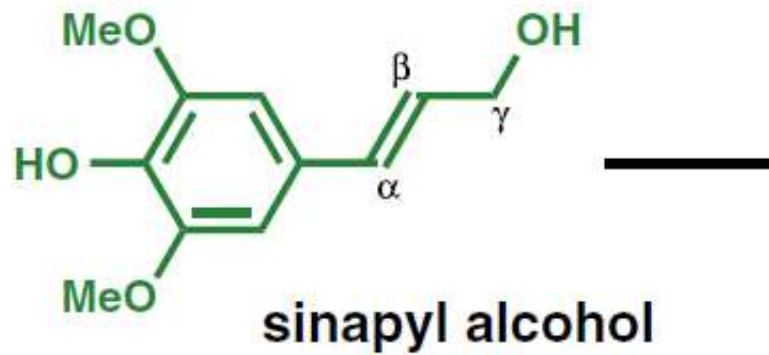
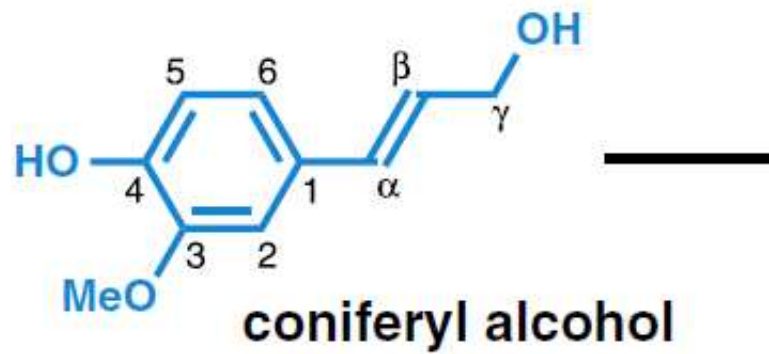
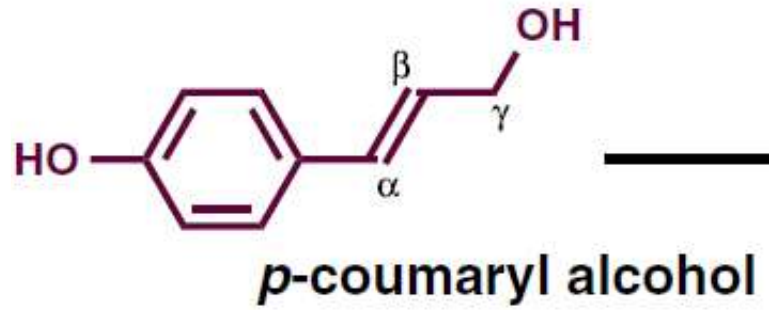
- Forma + soporte + protección
 - Resistencia mecánica
 - Rigidez
- Permitir la comunicación entre células/tejidos
- Pared celular primaria vs. primaria + secundaria



Phalip et al., 2012



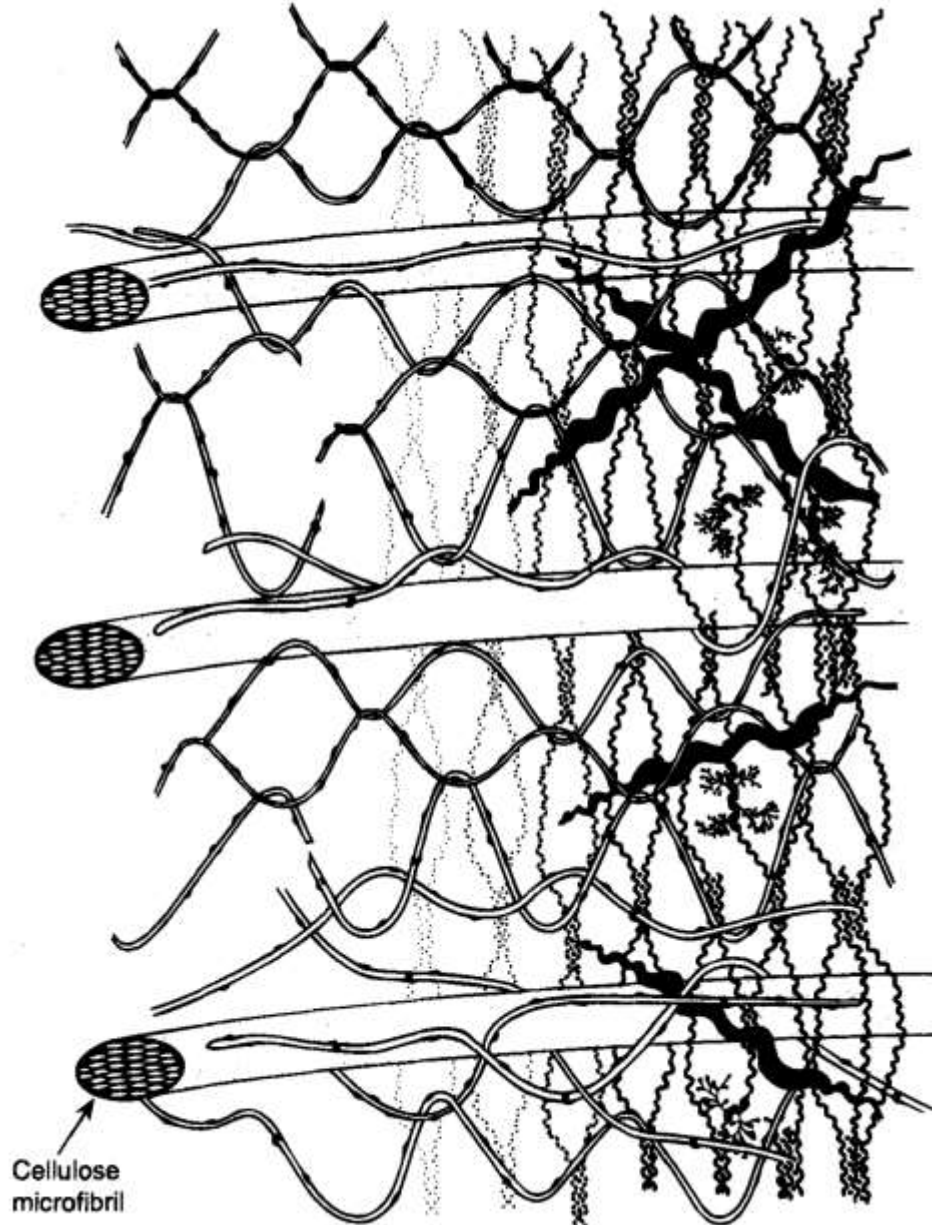
Lignina



complejidad



Xyloglucan



Extensin

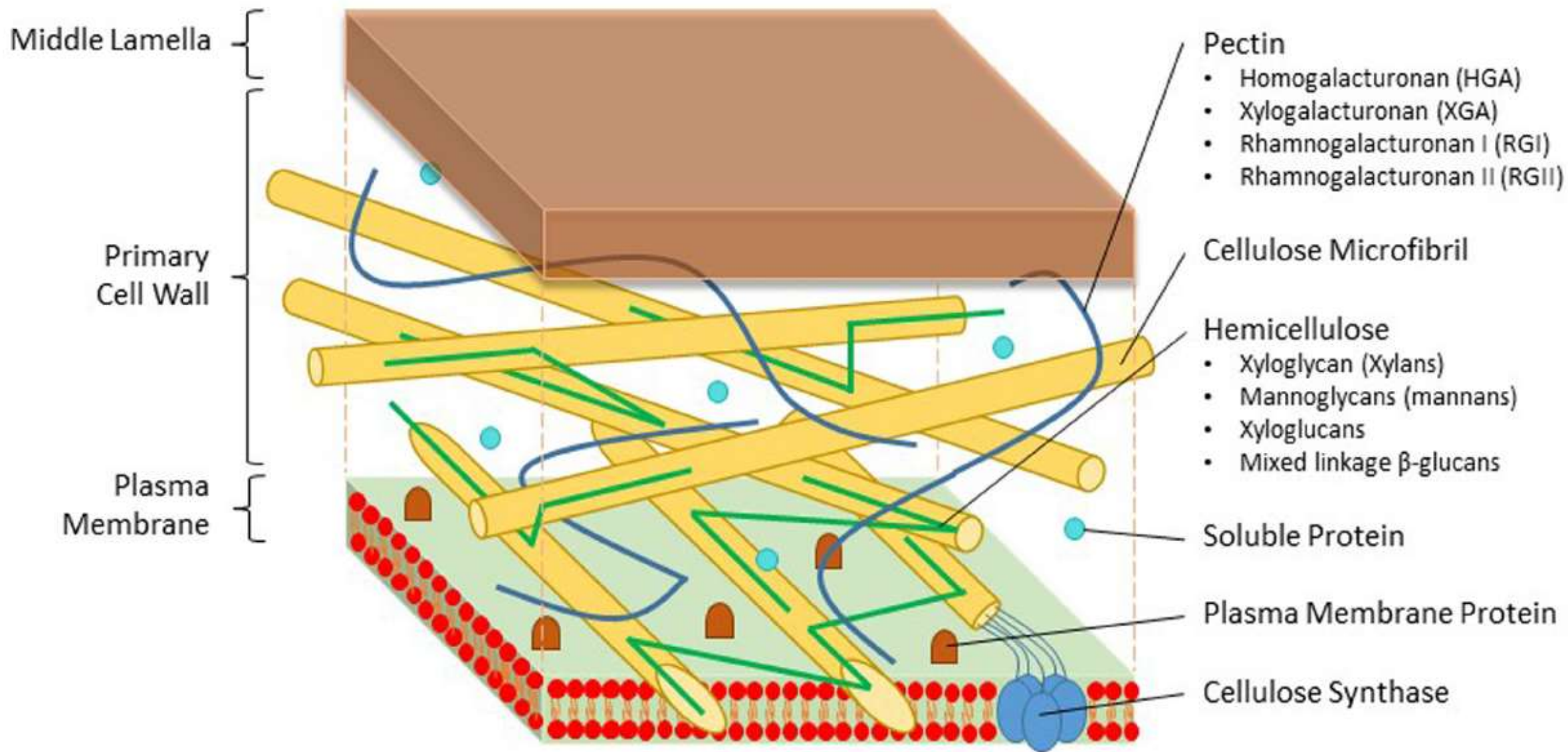


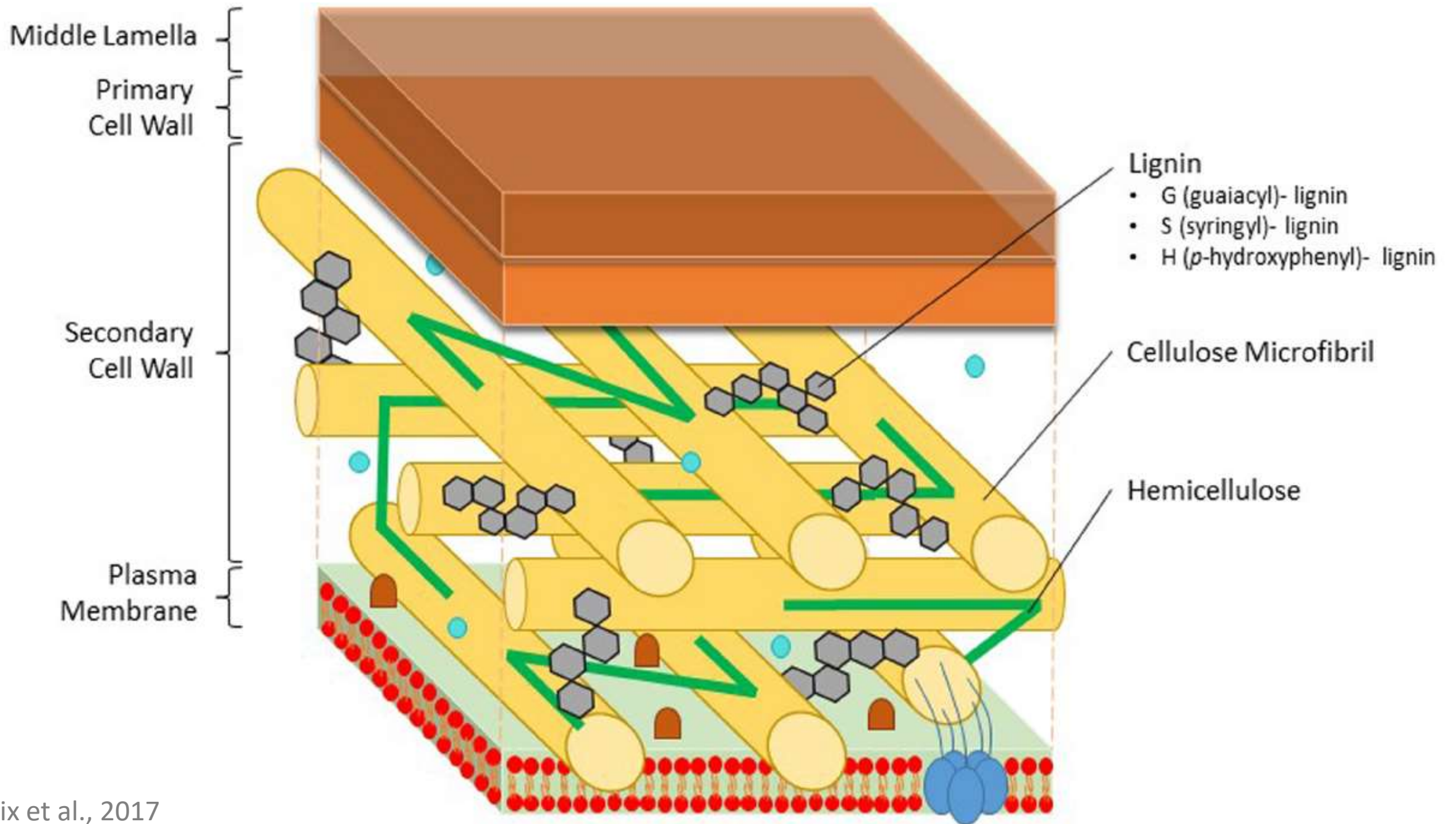
RG 1 with
arabinogalactan
side-chains



Galacturonan
-Ca²⁺
"eggbox"
structures

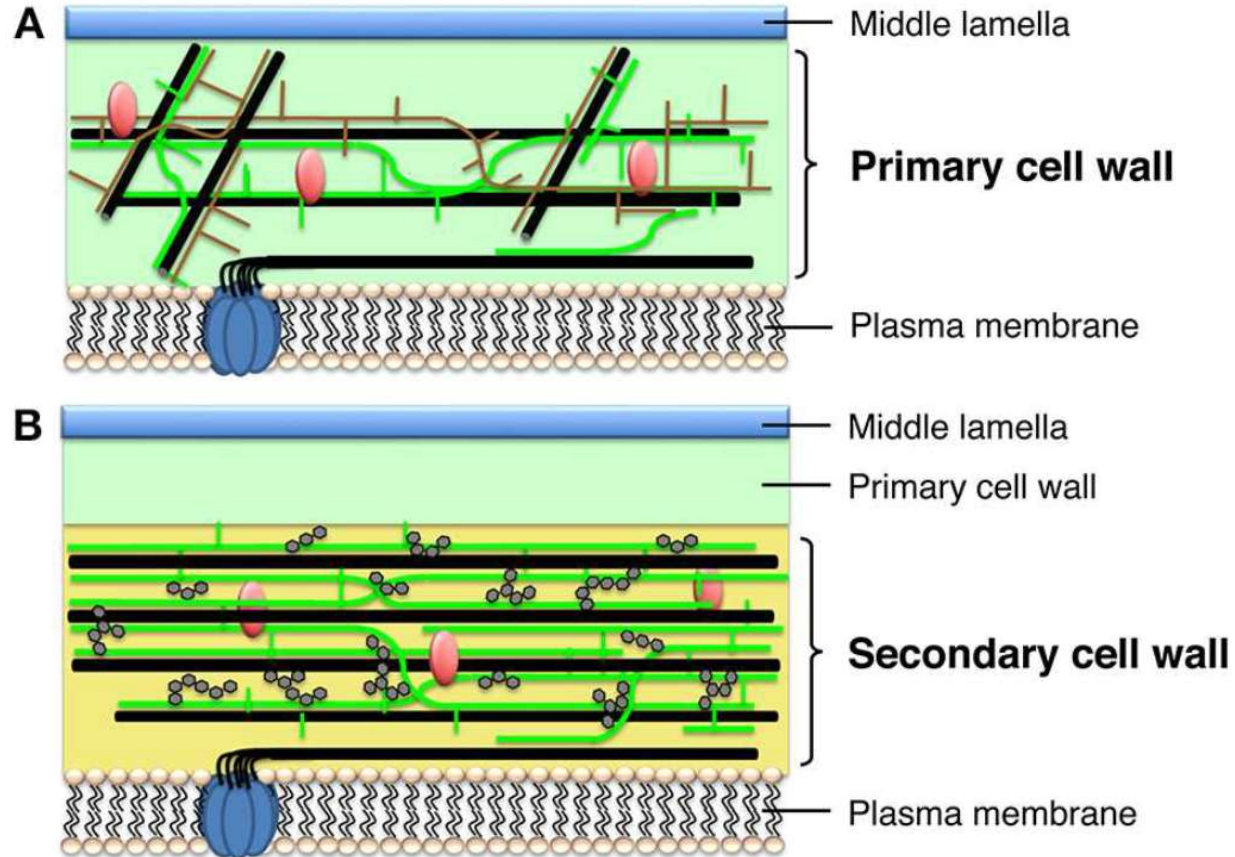
Cellulose
microfibril





Estructura de la pared de las células vegetales

Nakano et al. (2015)



- Condiciona la forma y el tamaño
- Xiloglucanos
- Más pectinas

- Rigidez mecánica e hidrofobicidad
- Mantener la estructura y transporte de agua dentro de la célula
- Más gruesa
- Xilanos
- Celulosa más polimerizada
- Más lignina

- Cellulose synthase complex
- Cellulose microfibril
- Hemicellulose
- Lignin
- Pectin
- Protein

Se desconoce la organización estructural de la mayor parte de paredes celulares

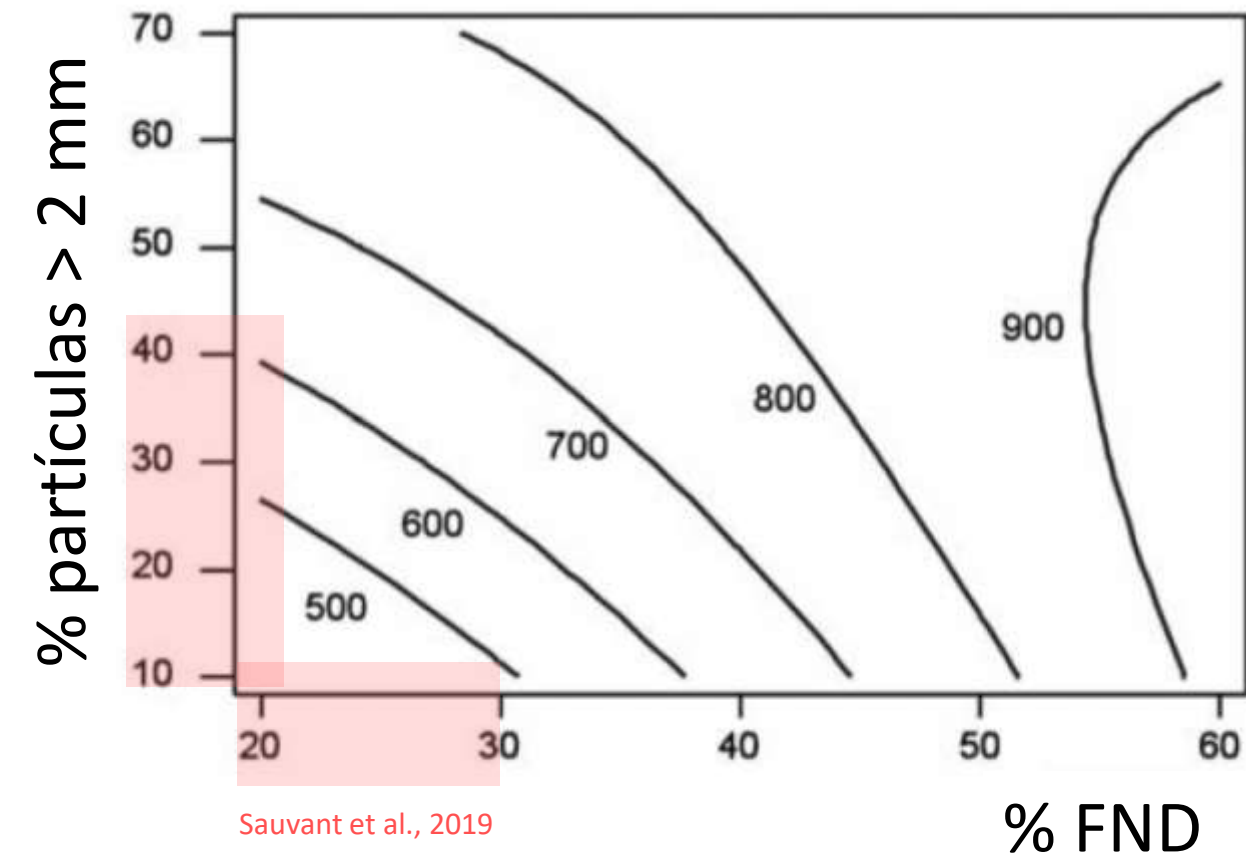
Pared celular es anisotrópica: propiedades mecánicas dependen de la dirección

Efectos fisiológicos: salud e ingestión

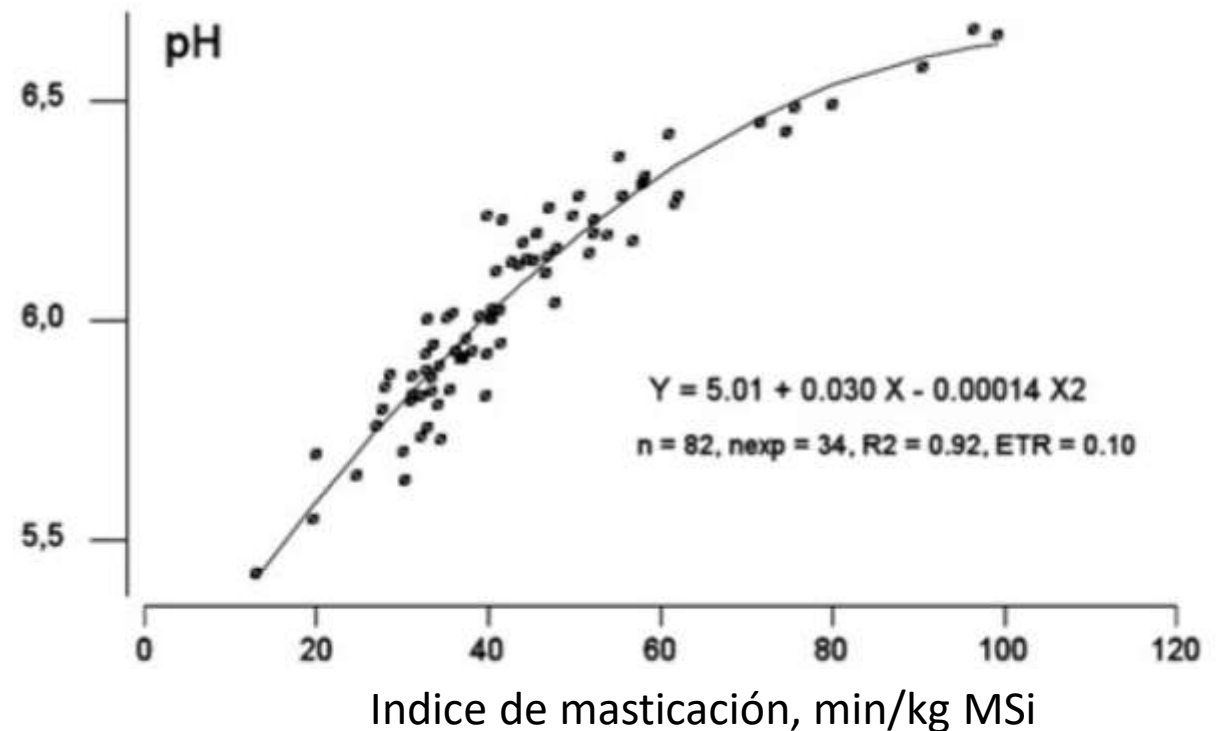
Actividad masticatoria = f (fibra, tamaño partícula)

- motilidad ruminal – velocidad de tránsito – capacidad de ingestión
- producción saliva – pH ruminal

Duración de la masticación (min/d)



Sauvant et al., 2019

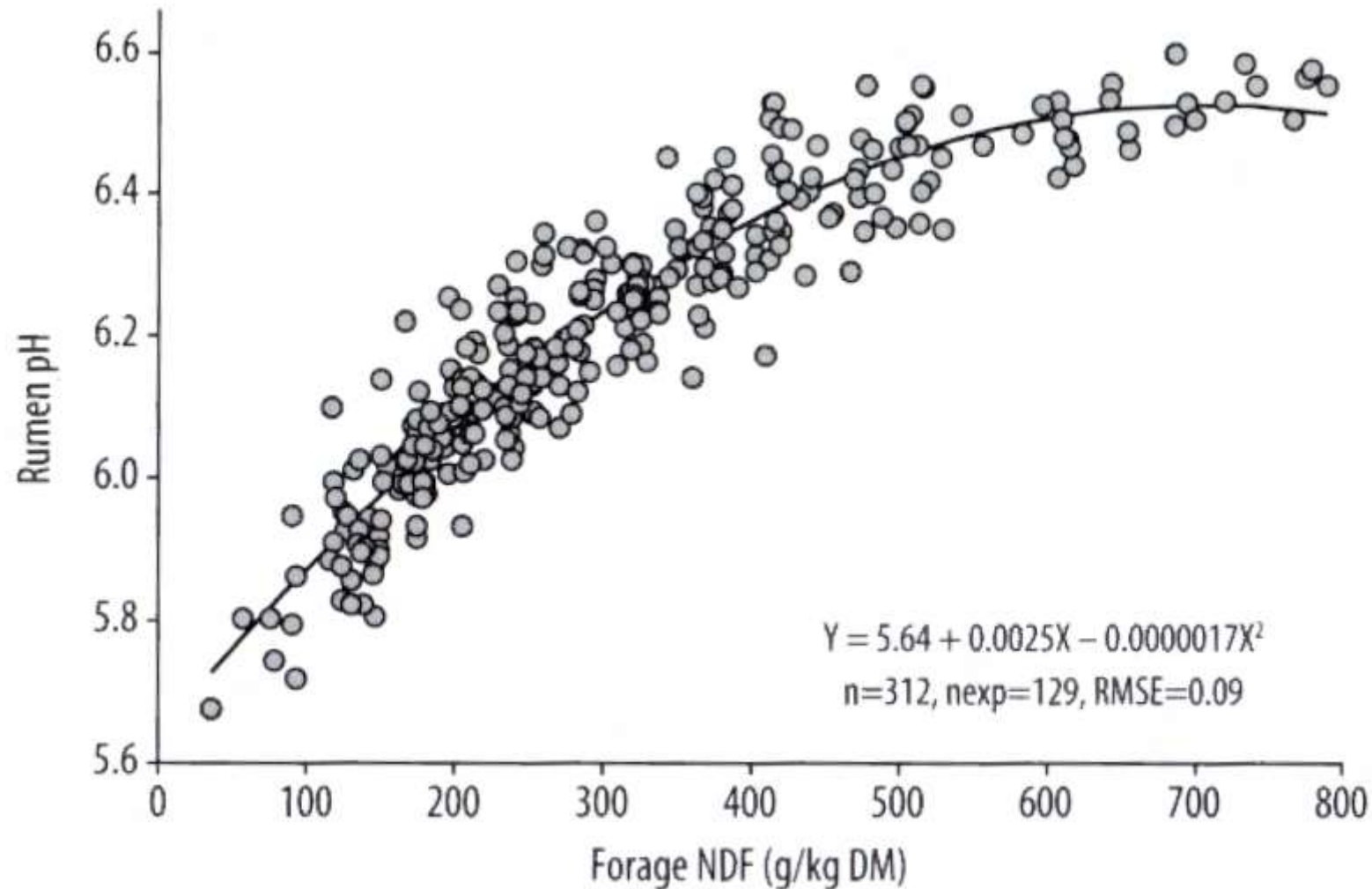


Sauvant et al., 2008

Efectos fisiológicos: salud e ingestión

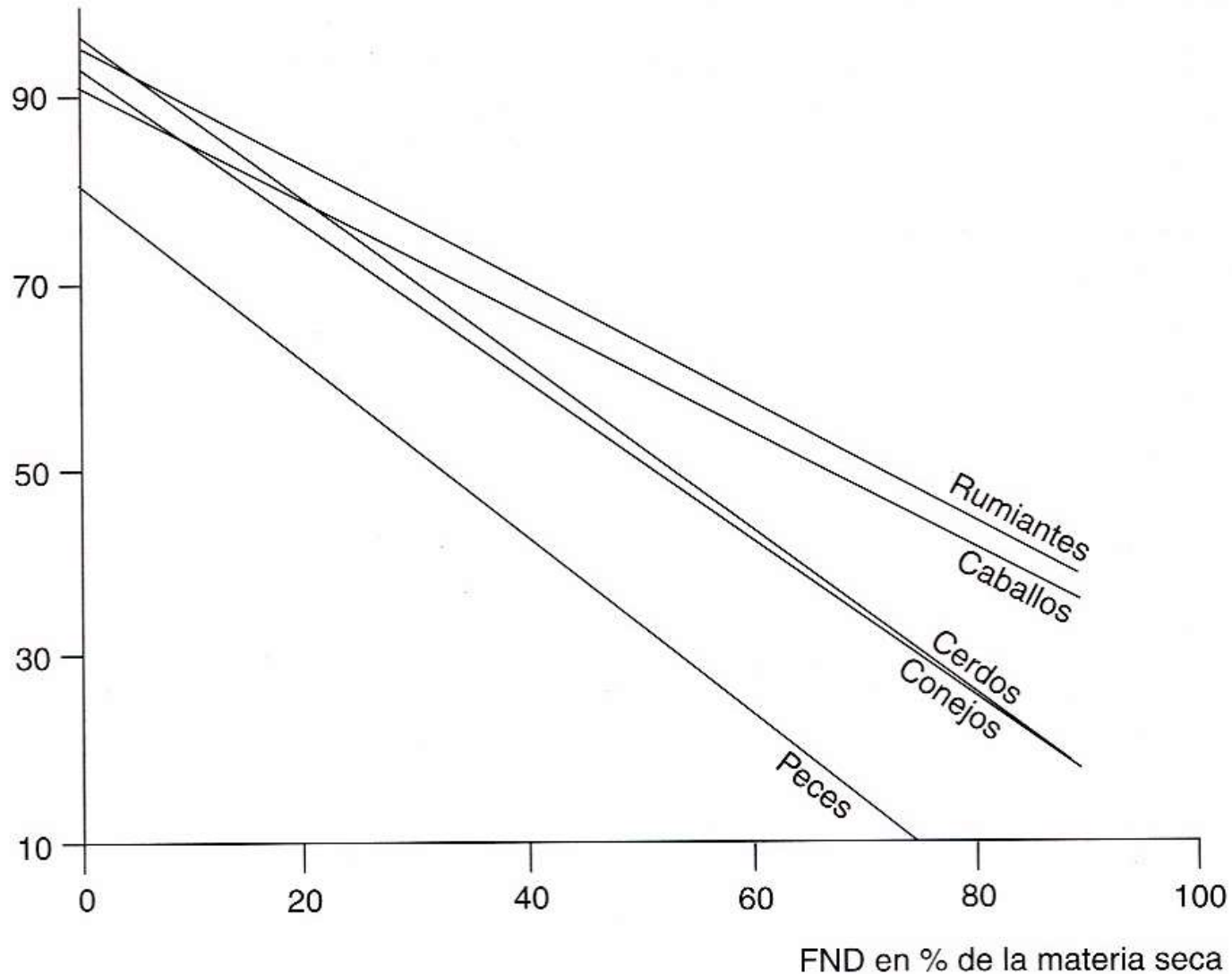
Actividad masticatoria = f (fibra, tamaño partícula)

- motilidad ruminal – velocidad de tránsito – capacidad de ingestión
- producción saliva – pH ruminal



Efectos fisiológicos: valor nutritivo

Digestibilidad de la energía (%)



Tran y Sauvant, 2002



Ideal para el nutricionista:

Disponer de un único valor que ordenase los

ingredientes por su 'fibrosidad' y efectos

fisiológicos asociados, y fuese aditivo



Definiciones de fibra dietética: monogástricos

Definición química + Digestibilidad

- **Trowell et al. (1976):**

Residuo de células vegetales comestibles (polisacáridos, lignina, y sustancias asociadas)¹ resistentes a la digestión (hidrólisis) por enzimas propios del hombre

(A partir de esta definición se desarrolla el método oficial AOAC² 985.29 -1986-)

¹ Celulosa, hemicelulosa, lignina, gomas, mucílagos, oligosacáridos, pectinas, ceras, cutina, suberina

² Association of Official Analytical Chemists (AOAC)

Definiciones de fibra dietética (UE)

Definición química + Digestibilidad + Otros efectos fisiológicos asociados

REGLAMENTO (UE) Nº 1169/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. ANEXO 1

(obligado cumplimiento en el etiquetado de alimentos desde 13/12/2016)

Polímeros de carbohidratos con un grado de polimerización no menor de 3 que no son ni digeridos ni absorbidos en el intestino delgado, y sustancias asociadas.

—Ejercen ciertos efectos fisiológicos:

- Reducen el tiempo de tránsito intestinal y aumentan el volumen de heces
- Son fermentables por la microflora del colon
- Reduce el nivel sanguíneo de colesterol total y/o LDS en sangre
- Reduce el nivel sanguíneo postprandial de glucosa y/o insulina

Definiciones de fibra para rumiantes/herbívoros

- Van Soest (1967):

Fracción fibrosa total: Pared celular vegetal (celulosa, hemicelulosa y lignina).

- **Van Soest (*Nutritional ecology of the ruminant*, 1984):**

Fibra: unidad biológica [composición química + densidad + tamaño de partícula]

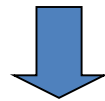
- **Mertens (2003):**

Fibra dietética para herbívoros: Materia orgánica indigestible o lentamente digestible que ocupa espacio en el tracto gastrointestinal.

Fibra dietética insoluble: fracción del alimento con digestibilidad variable y que influye sobre sobre la digestibilidad de la materia orgánica de la ración y la velocidad de tránsito en rumiantes.

Definiciones de fibra para rumiantes/herbívoros

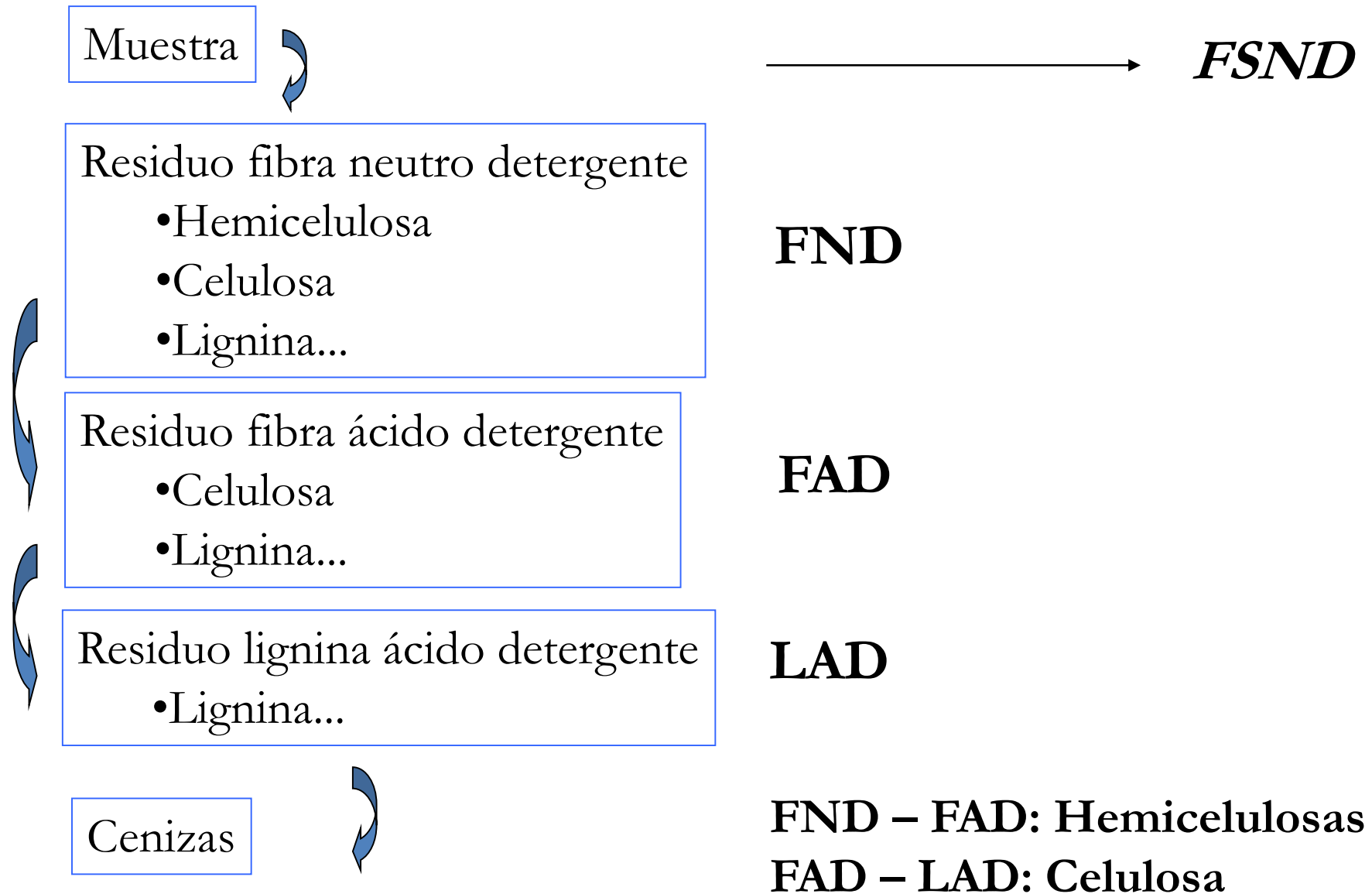
- ❖ Material hidrolizable por enzimas animales o totalmente disponible (contenido celular: azúcares, almidón, proteína, grasa)
- ❖ Dentro del material resistente a enzimas animales diferenciar
 - ❖ Parcialmente disponible: hemicelulosa, celulosa
 - ❖ Totalmente inaccesible: lignina



ESQUEMA VAN SOEST (1963)

cómo cuantificar la fibra?

ESQUEMA VAN SOEST



Fibra dietética total
Total dietary fibre (TDF)

Fibra neutro detergente (FND)
Neutral detergent fibre (NDF)

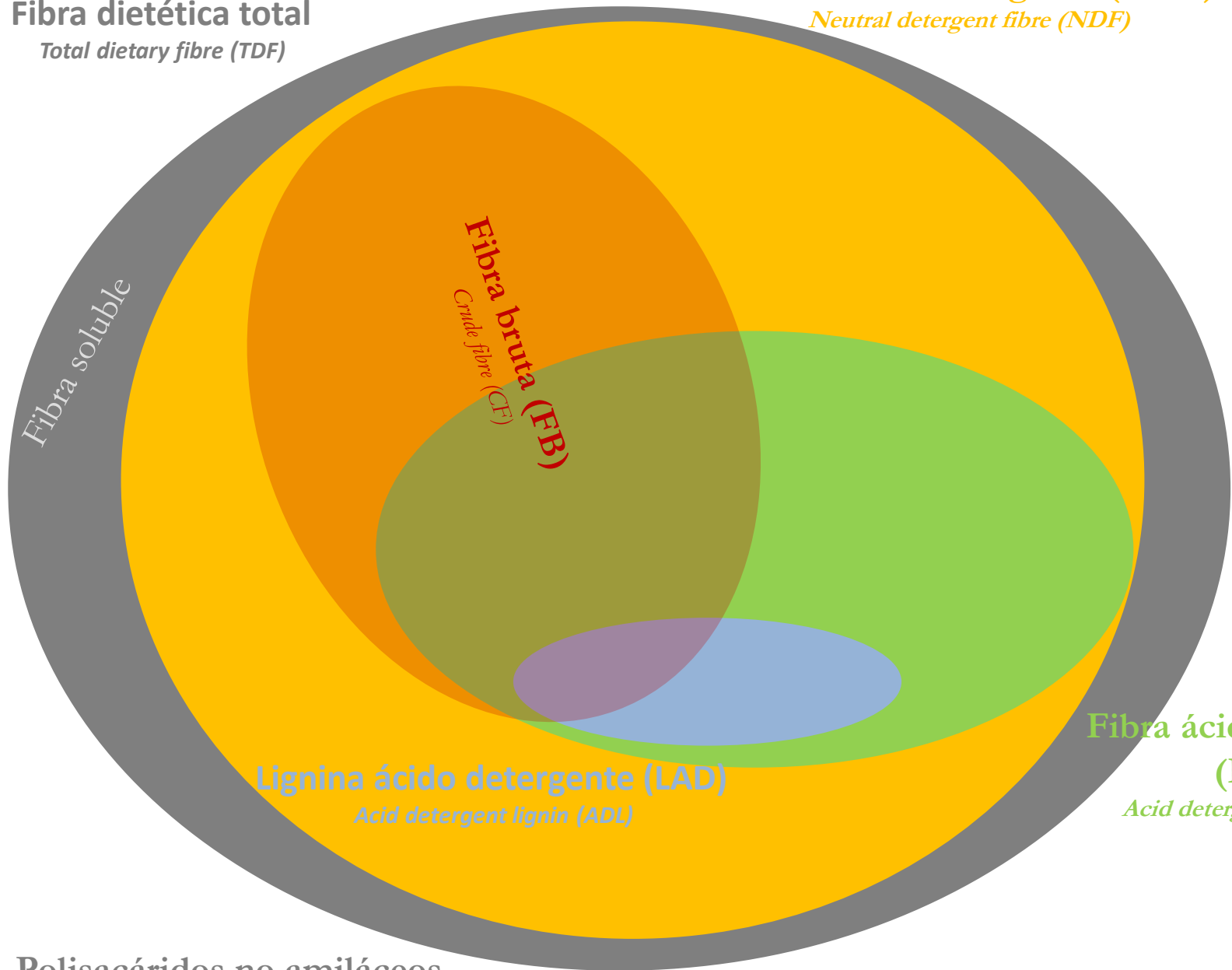
Fibra soluble

Fibra bruta (FB)
Crude fibre (CF)

Lignina ácido detergente (LAD)
Acid detergent lignin (ADL)

Fibra ácido detergente (FAD)
Acid detergent fibre (ADF)

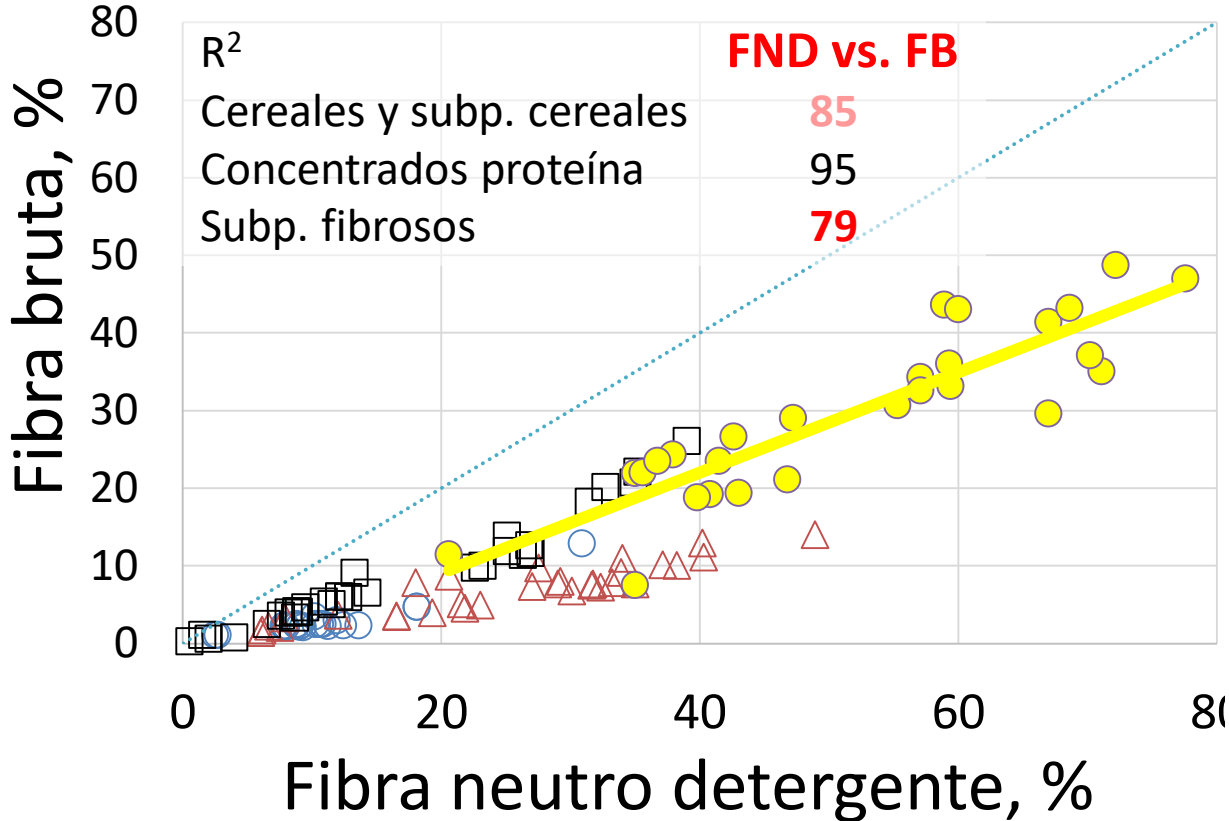
Polisacáridos no amiláceos
Non starch polysaccharides (NSP) = TDF - ADL



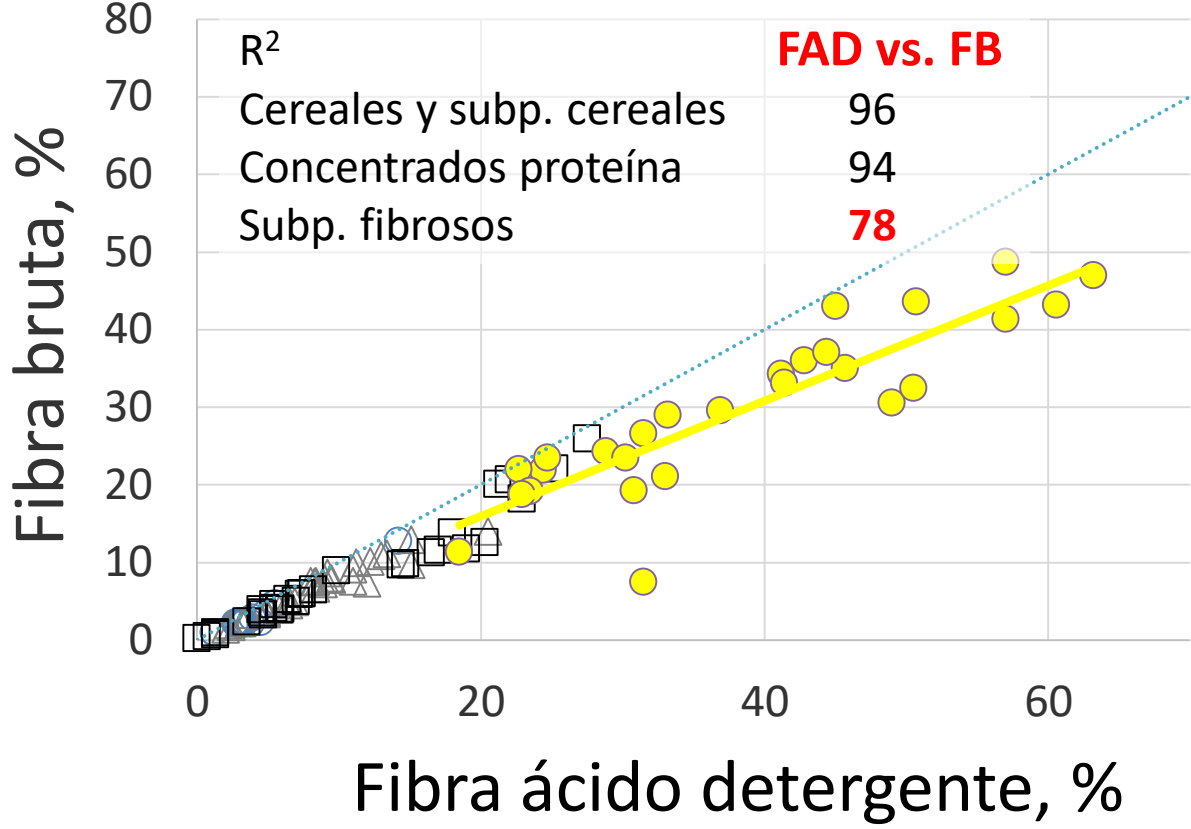
Relación entre FND-FAD y FB (R^2)

	<u>FND vs. FB</u>	<u>FAD vs. FB</u>
• Praderas	96	99
• Gramíneas	88	93
• Alfalfa-trébol	92	91
• Maíz forrajero	69	92
• Otras gramíneas	98	98

Cuantificación fibra insoluble: concentrados



- Granos de cereales
- Concentrados proteicos



- △ Subproductos cereales
- Fuentes de fibra

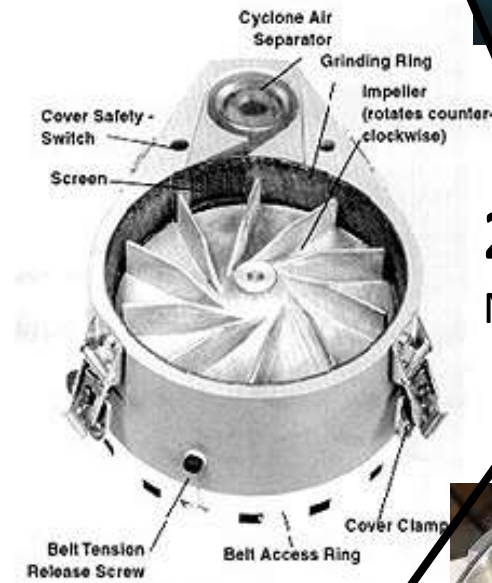
Factores de variación de la FND

- ‘Molienda 1 mm’ :
 - forrajes: picado + molido 6 mm+ molido 1 mm

aFND, % MS	Corte	Ciclón	<i>Ciclón/Corte</i>
Maíz grano	8.7	6.7	<i>0.77</i>
Ensilado maíz	38.1	37.7	<i>0.99</i>
Ensilado raygrass	55.6	55.5	<i>1.00</i>
Heno hierba	63.4	62.4	<i>0.98</i>
Pulpa remolacha	37.5	36.1	<i>0.96</i>
C. soja	60.8	58.7	<i>0.97</i>



1 mm



2 mm

NASEM, 2021



¿2? mm

Factores de variación de la FND

ESQUEMA DE VAN SOEST

- Solución neutro detergente
 - Lauril sulfato sódico
 - EDTA
 - Tetraborato sódico decahidratado
 - Fosfato sódico dibásico
 - Trietilenglicol
 - α -amilasa termoestable
 - Sulfito sódico
- Solución ácido detergente
 - Bromuro de cetiltrimetilamonio
 - Ácido sulfúrico
- Solución lignina
 - Ácido sulfúrico 72%

FIBRA NEUTRO DETERGENTE

Van Soest (1963, 1991)
Mertens et al. (2002)
AOAC 2002,04



0,5 g
40-60 μm

0,5 g
25 μm



Lavado con acetona

Proteína
Cenizas



Factores de variación de la FND

- Procedimiento:
 - Filtrado: tipo crisol vs. tipo bolsa

aFND, % MS	Crisol			<i>F57/Crisol</i>	<i>F58/Crisol</i>	<i>F58/F57</i>
	I	F57	F58	<i>ol</i>	<i>ol</i>	
μm	40-60	25	6-9			
Maíz grano	7.56	6.91	7.67	<i>0.91</i>	<i>1.01</i>	<i>1.11</i>
Ensilado maíz	38.8	33.9	39.1	<i>0.87</i>	<i>1.01</i>	<i>1.15</i>
Ensilado raygrass	56.8	51.5	56.4	<i>0.91</i>	<i>0.99</i>	<i>1.10</i>
Heno hierba	63.3	60.0	63.7	<i>0.95</i>	<i>1.01</i>	<i>1.06</i>
Pulpa remolacha	37.2	35.7	36.6	<i>0.96</i>	<i>0.98</i>	<i>1.03</i>
C. soia	60.3	58.1	59.7	<i>0.96</i>	<i>0.99</i>	<i>1.03</i>



- Procedimiento:
 - Amilasa
 - Sulfito
 - Corrección por cenizas
 - Sin corrección
 - De FND (directa)
 - De LAD (secuencial)
- **Sustancia de referencia en cada partida?**



Cómo determinar la FND

AOAC 2002.04

Muchas ecuaciones de predicción incluyen la FND

¿¿Cómo habría que analizarla??



Es suficiente la FND...?

- La composición química (FND, FAD, LAD) no explica todos los efectos fisiológicos de la fibra.
- Importante las características físicas:
 - tamaño de partícula: definición?
 - densidad
 - forma
- Difícil establecer unidad físico-química completa
 - FND efectiva (Mertens, 1997; Zebeli et al., 2012):
 - FND ajustada (White et al., 2017)
 - FND del forraje

Retos pendientes

Líneas de investigación prioritarias (ADSA, 2017)

- Evaluación precisa in vitro de la degradación de la fibra (in vitro, in situ, in vivo)
 - Relación entre la degradabilidad de la FND y la reducción del tamaño de partícula
 - Propiedades químicas-físicas que influyen sobre las características de las partículas (fragilidad, densidad, flotabilidad, tránsito ruminal)
- Análisis físico de la fibra
 - Estandarizar metodología para evaluar el tamaño de partícula
 - Evaluar otros métodos para describir el tamaño de partícula: distribuciones de partículas
 - Otras alternativas: forma tridimensional, densidad
- Análisis químico de la fibra
- Modelización de la degradación, tránsito y utilización de la fibra
 - Evaluar utilidad práctica de la 'FND ajustada'
 - Comparar con la 'FND efectiva'

24

NutriForum



¡Muchas gracias!



AdiNature
Aditivos Naturales para
Alimentación Animal