

# Semana de la Ciencia y la Tecnología en el CSIC: Los Retos de la Agricultura

## La Sanidad de las Plantas: Presente y Futuro

**Rafael Manuel Jiménez Díaz**  
**Presidente de AEsaVE**



Real Academia de  
Doctores de España



Instituto de Agricultura  
Sostenible

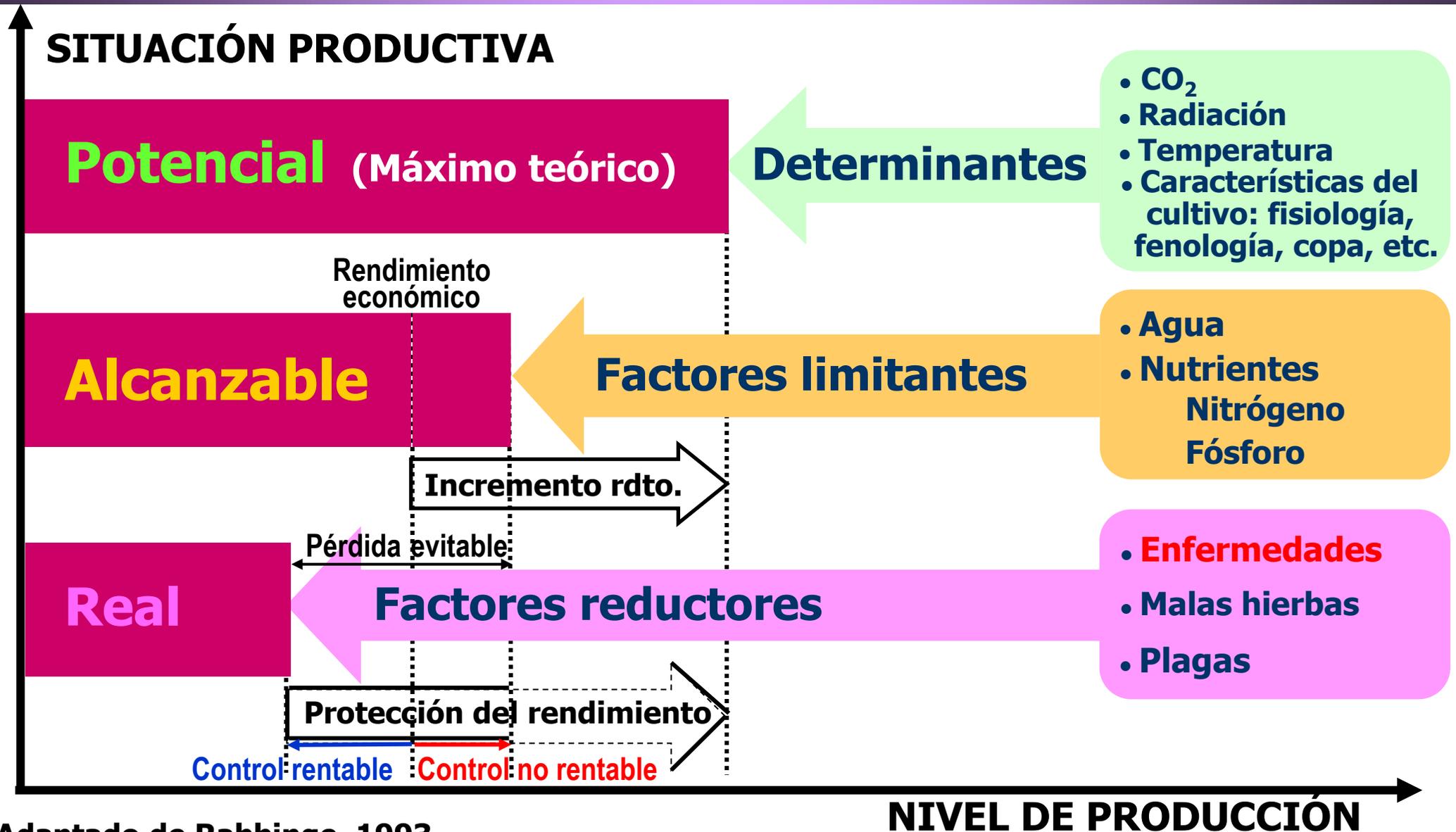


Universidad de  
Córdoba



Real Academia  
de Córdoba

# Sanidad de las plantas: Factor reductor del rendimiento alcanzable



Adaptado de Rabbinge, 1993.

# La Sanidad de las Plantas: Presente y Futuro

---

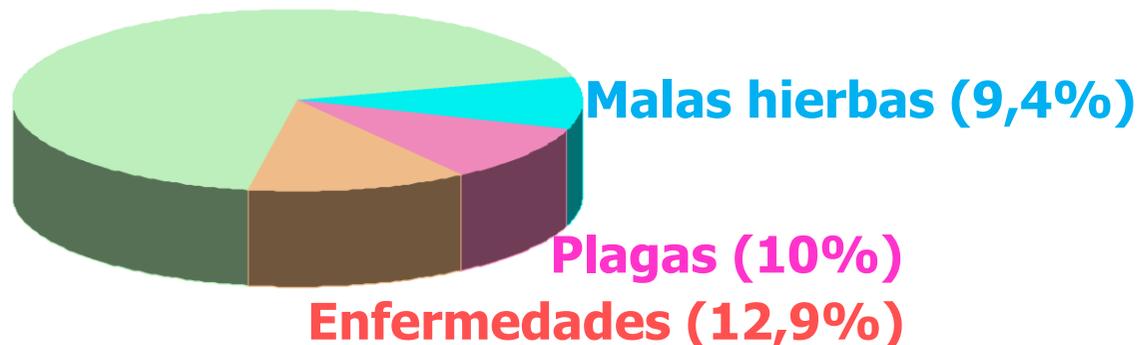
## Índice

- **Significación de las enfermedades de las plantas en los rendimientos y la salubridad de la producción agrícola**
- **Cambios en los escenarios de la Sanidad Vegetal: Nuevas enfermedades, nuevas soluciones**
- **Nuevos conceptos, paradigmas y retos en la investigación fitopatológica y la Sanidad Vegetal**
- **Consideraciones finales**

# Sanidad Vegetal y Pérdidas de Cosecha (algodón, arroz, café, cebada, maíz, patata, soja, y trigo) (1988-2003)

**1996-1998 (Oerke y Dehne, 2004)**

**Producto cosechado (67,7%)**



**2001-2003 (Oerke, 2006)**

**Producto cosechado (67%)**



**Seguridad alimentaria: Pérdidas de cosecha alimentarían 8,5% de la población mundial (2010:)**

**Carbón del maíz**  
**Mildiu de la patata**  
**Necrosis del arroz**  
**Roya de la soja**  
**Roya negra del tallo del trigo**

Fisher et al. 2012. Nature 484.

**Pérdidas en postcosecha (Internat. Water Manag. Inst., 2007)**

**Ocasionadas durante el transporte, almacenamiento, manipulación para procesado y empaquetado, comercialización, y destrío (35%)**

# Enfermedades de las plantas: Malfuncionamiento fisiológico y reducción del rendimiento alcanzable

## Reducción de:

- \* Densidad final de plantas establecidas (**Muerte de plántulas**)
- \* Absorción (**Podredumbres de raíces**) y translocación de agua y nutrientes (**Traqueomicosis**)
- \* Actividad meristemática (**Chancros, Nodulaciones radicales**)
- \* Interceptación de radiación solar y fotosíntesis (**Manchas foliares, Mildi**)
- \* Tasa de redistribución de asimilados (Ej., **Fitoplasmosis, Virosis**)

Fusariosis Vascular/  
tomate



Chancro/  
manzano



Mosaico/  
tomate



Rabia/  
garbanzo



Nódulos radicales/  
melocotonero

# Enfermedades de las plantas y la salubridad agroalimentaria

\* **Cornezuelo (ergotismo) de cereales:**  
***Claviceps purpurea* (Esclerocios)**

• **Alcaloides en esclerocios: ergotamina, ergonovina, ergina, ácido lisérgico (LSD)**

• **Gangrena y fiebre, aborto, alucinaciones y convulsiones**

• **Alemania, Francia Inglaterra, Rusia:**  
**900's- 1800'**

• **Los Mendigos: Pieter Bruegel The Elder** →  
**( 1525–1569)**

• **1950's: Epidemias en la Provenza francesa**

• **1978: Epidemias de gangrena en Etiopía**



# Enfermedades de las plantas y salubridad agroalimentaria: Micotoxicosis y micotoxinas acumuladas en productos agrícolas en pre- y post-cosecha

Hongo	Cultivo	Micotoxina	Efecto
<b>• Fitopatógenos</b>			
<i>Fusarium graminearum</i>	Cereales	DON tricoteceno Zearalenona	Reducción de ingesta Síndrome estrogénico
<i>F. fujikuroi</i> , <i>F. sacchari</i> , <i>F. verticillioides</i>	Maíz	Fumonisinias	Edema pulmonar, cáncer de esófago
<i>Penicillium</i> spp.	Frutos almacenados	Ochratoxina	Nefropatías
<b>• No fitopatógenos</b>			
<i>Aspergillus</i> spp.	Cacahuete, maíz, pistacho	Aflatoxinas	Cáncer de hígado, aflatoxicosis
<i>Epichlōe festucae</i> , <i>Neotyphodium</i>	Endofito (pastos)	Lolitrenos	Reducción de: ingesta, movilidad, fertilidad
<i>Stachybotrys</i> spp.	Restos vegetales, superficies húmedas	T-2 tricoteceno	Hemorragias, 'sick building syndrome'

# Salubridad alimentaria: Las plantas como vectores de patógenos humanos (1996-2016)

Microorganismo	Producto	Efecto
<i>Escherichia coli</i> EHEC157	Espinaca, brotes germinados, etc.	Trastornos abdominales, hemorragias, vómitos o síndrome ureico hemolítico
<i>Salmonella enterica</i>	Albahaca, brotes germinados, lechuga,	Salmonelosis (diarreas, fiebres, vómitos)

- **El 46% de las enfermedades asociadas con alimentos en los EE UU durante 1998-2008 fueron causadas por productos vegetales contaminados.**  
Painter et al. 2013. Emerging Infectious Diseases 19: 407-415.
- **Uno de los problemas más importantes que afronta la producción hortícola: i) amenaza para la salud pública; ii) erosión de la confianza del consumidor; iii) impacto sobre la viabilidad económica de la industria agroalimentaria**
- **2013: Phytopathology**  
**PERSPECTIVES** 'Human Pathogens on Plants: Designing a Multidisciplinary Strategy for Research'

Creación de un 'Focus on Food Safety: Human Pathogens on Plants'  
Maria T. Brandl (Senior Editor) and George W. Sundin (Editor-in-Chief).

# **Cambios en los escenarios de la Sanidad Vegetal: Emergencia y reemergencia de enfermedades**

---

- **Enfermedades emergentes**

**Enfermedades cuya incidencia y severidad han aumentado (o están aumentando) recientemente, a menudo asociadas con patógenos que infectan nuevos huéspedes**

- **Enfermedades reemergentes**

**Enfermedades que **habían dejado de tener repercusión importante sobre las cosechas**, pero en las que la incidencia de factores recientes (Ej., nuevas estirpes de patógenos conocidos, manejo de los cultivos) han determinado el desarrollo de nuevo de epidemias devastadoras y de impacto social**

- **Phytopathology 105 (2015):**

**Focus Issue Articles on Emerging and Re-Emerging Plant Diseases** (K. Subbarao, G. W. Sundin, and S.J. Klosterman)

# Enfermedades emergentes recientes y devastadoras (Ejs.)



**Muerte súbita de robles y encinas  
(EE UU, Europa)**



**Chancro resinosos del  
pino (EE UU, Europa)**



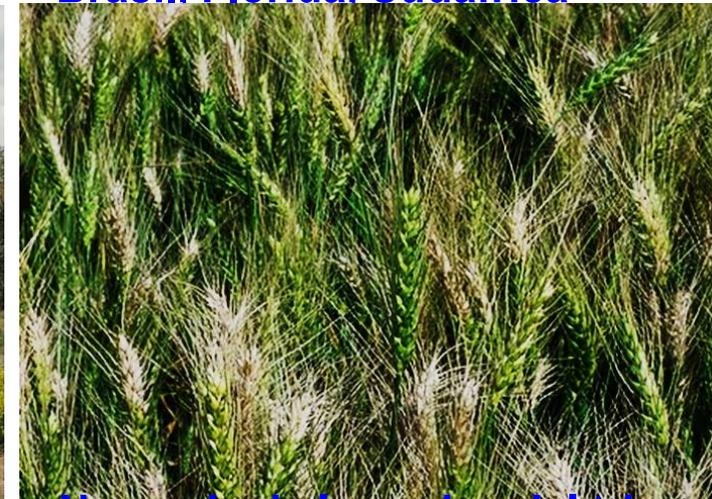
**Huanglongbing: China (1919),  
Brasil, Florida, Sudáfrica**



**Mal de Panamá en var. Cavendish  
(Jordania, Mozambique)**



**Muerte súbita del olivo  
(Salento, Apulia, Italia)**



**Necrosis de la espiga del trigo  
(Brasil, EE UU., Bangladesh)**

# Impacto social de enfermedades emergentes y devastadoras

AGRICULTURE \* **Raza 4 Tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc-TR4 )**

## • **Fungus threatens top banana** \* Fusariosis vascular de la platanera (Mal de Panamá)

*Fears rise for Latin American industry as devastating disease hits leading variety in Africa and Middle East.*

BY DECLAN BUTLER 2 DECEMBER 2013 | VOL 504 | NATURE | 195



## • **The imminent death of the Cavendish banana and why it affects us all**

By Duncan Leatherdale

BBC News 24 January 2016 | England

## \* **Necrosis de la espiga del trigo**

*Pyricularia graminis-tritici* sp. nov., *Pyricularia oryzae* patotipo *Triticum*

## **Devastating wheat fungus appears in Asia for first time**

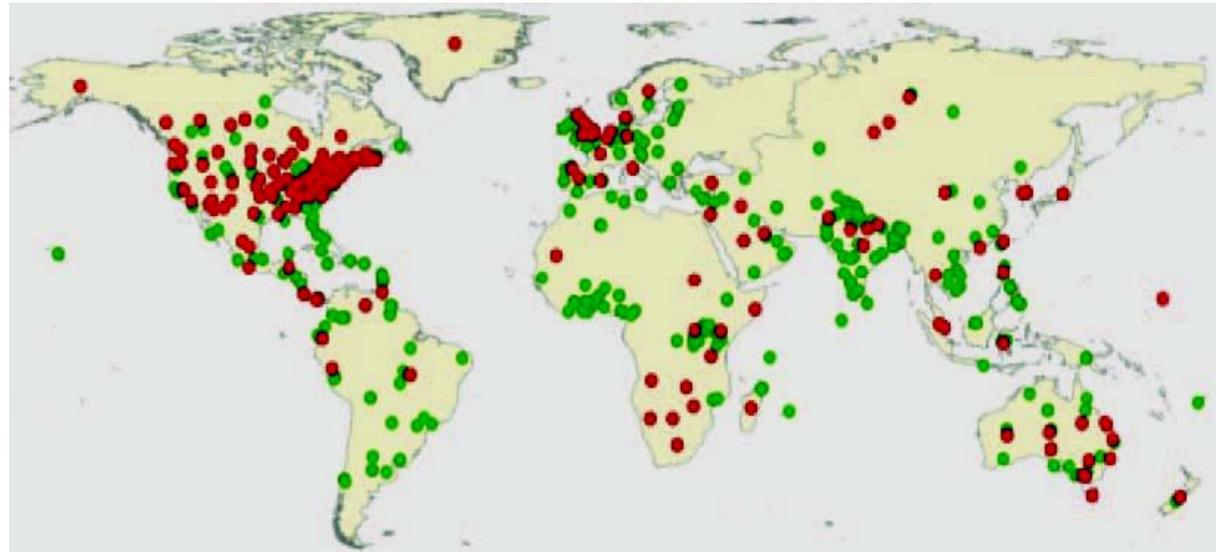
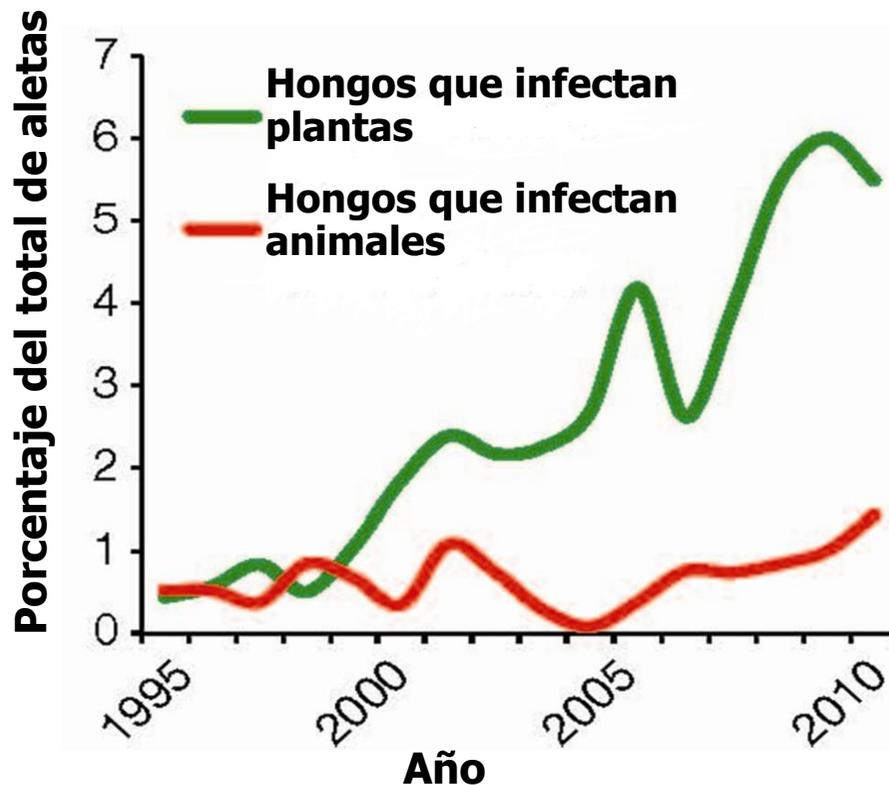
*No one knows the origin of the Bangladesh outbreak, which scientists warn could spread.*

BY EWEN CALLAWAY 28 APRIL 2016 | VOL 532 | NATURE | 421



# Prevalencia mundial de alertas de Enfermedades Infecciosas Emergentes causadas por hongos y oomicetos en plantas

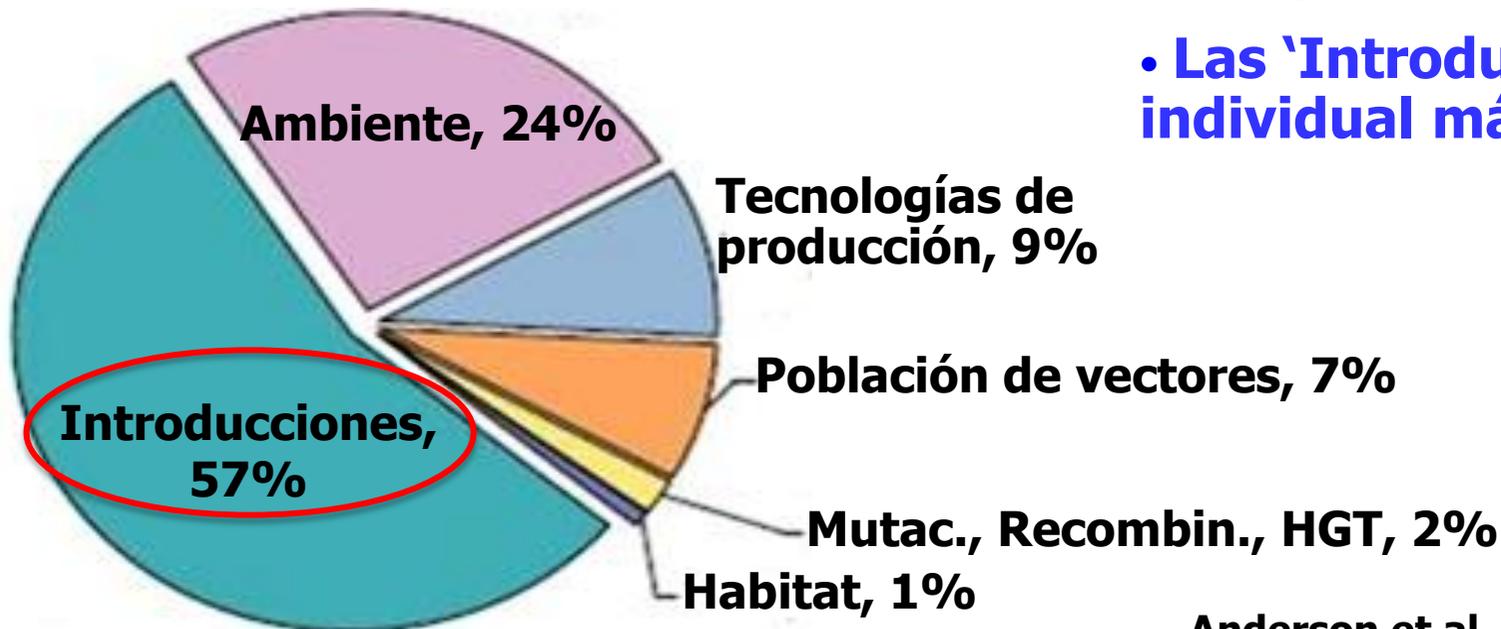
- Sistema mundial de alertas sobre Enfermedades Infecciosas Emergentes en personas, animales y plantas 'ProMED-mail' (<http://www.promedmail.org>) para la difusión rápida y global de brotes de enfermedades infecciosa y exposiciones agudas a toxinas en animales o plantas cultivadas para la alimentación



# ¿Cuales son los determinantes de la emergencia de enfermedades en plantas? (Meta-análisis de 30.000 alertas 'ProMED-mail', 1996-2002)

- **Introducción de patógenos (o sus estirpes) exóticos en nuevas áreas**
- **Cambios en:**
  - **El medio ambiente**
  - **Las tecnologías de producción (intensificación, laboreo/restos infestados, regadío, variedades, rotaciones, etc.)**
  - **La naturaleza y diversidad de las poblaciones de los vectores**
  - **La diversidad genética en las poblaciones del patógeno**

• **Las 'Introducciones': El factor individual más importante**



# Factores que propician la diseminación transfronteriza de agentes fitopatógenos

---

- **Intensificación del tráfico internacional de material vegetal (semillas, bulbos, estaquillas, injertos y *iplantas en substratos!*)**
  - \* **Importaciones en la UE en 2012: 406.000t de flor cortada, plantas, coníferas y bulbos procedentes de América Central, China, Japón, Kenia, Sri Lanka, Sudáfrica, Tailandia, y Taiwán (Fuente: Estadísticas UE)**
  - \* **Importaciones en España en 2015: 35.000t de planta viva de países UE y extra-UE (Pagés, 2016. Phytoma 283.) (European Nurserystoct Association)**
- **Desaparición de barreras fitosanitarias (libre circulación de material vegetal entre países miembros de la Unión Europea)**
- **Ineficiente certificación de material vegetal libre de infección**
- **Lentitud en la puesta en práctica de acciones para impedir el establecimiento y dispersión de nuevos patógenos**



# Tristeza de los cítricos en España causado por el virus CTV transmitido por los pulgones *Aphis gossypii* y *Toxoptera aurantii*



Introducido en plantones de naranjo dulce importado de California (1932-35). Epidemias periódicas desde 1957 (**53 % de plantas enfermas**) en naranjo dulce y mandarinos injertados sobre naranjo amargo. **Más de 40 millones de árboles enfermos eliminados hasta 2000** (IVIA: Programa nacional de reconversión citrícola: variedades certificadas y uso de patrones tolerantes). Valor del material vegetal arrancado, repuesto, y lucro cesante de cosecha estimado en más de **1.000 millones de euros** (Cambra et al. 2000. Virus Res. 71.) (Alarma: **Introducción del pulgón *Toxoptera citricida*, vector eficiente de estirpes más virulentas del virus**)

# Patógenos exóticos introducidos en España (Ejs.: 1990-2016)

## \*Hongos y Oomicetos (15)

**Cítricos:** *Alternaria alternata*  
f. sp. *citri*/ Mancha marrón  
*Phoma tracheiphila* 'Mal seco'



**Mango:** *Fusarium mangiferae*/ Malformación

**Caqui:** *Mycosphaerella nawae*/ Necrosis foliar

## \*Bacterias y Fitoplasmas (11)

**Frutal de pepita:** *Erwinia amylovora*  
Fuego bacteriano



**Kiwi:** *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*/ Chancro

**Frutal de hueso:** *Xanthomonas arboricola* pv. *pruni*  
/ Necrosis bacteriana



**Vid:** Ca. *Phytoplasma solani*/ Bois Noir  
Ca. *Phytoplasma vitis*/ Flavescencia dorada



## \*Nematodos (2); Virus y viroides (21)

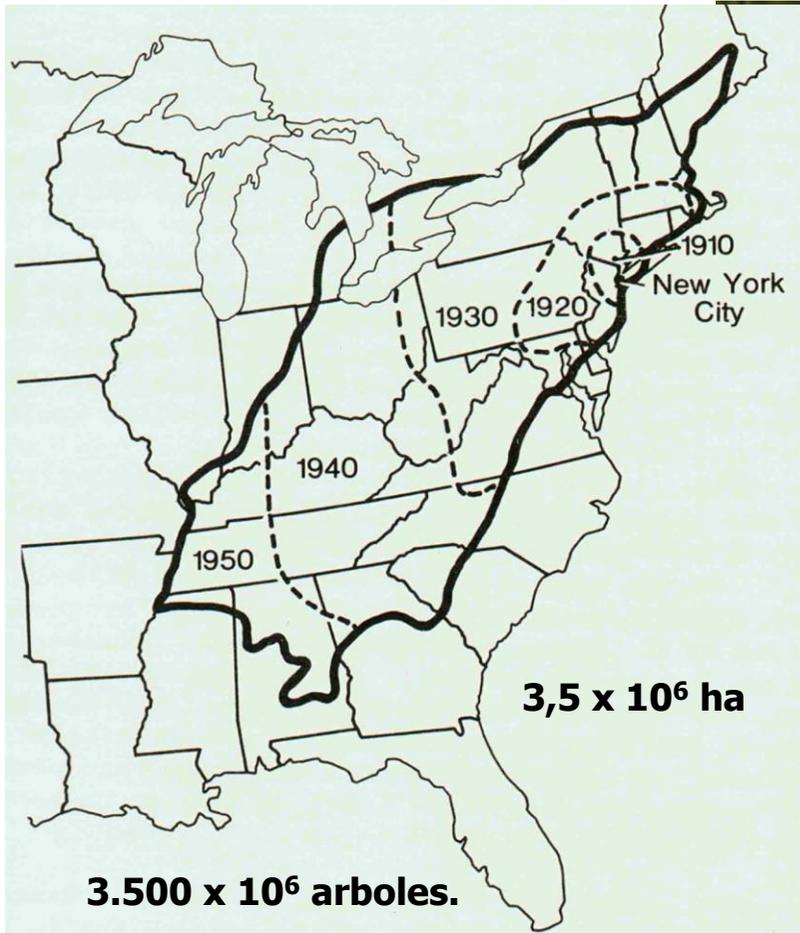
# Repercusión de la introducciones de patógenos o plantas exóticas en nuevas áreas

---

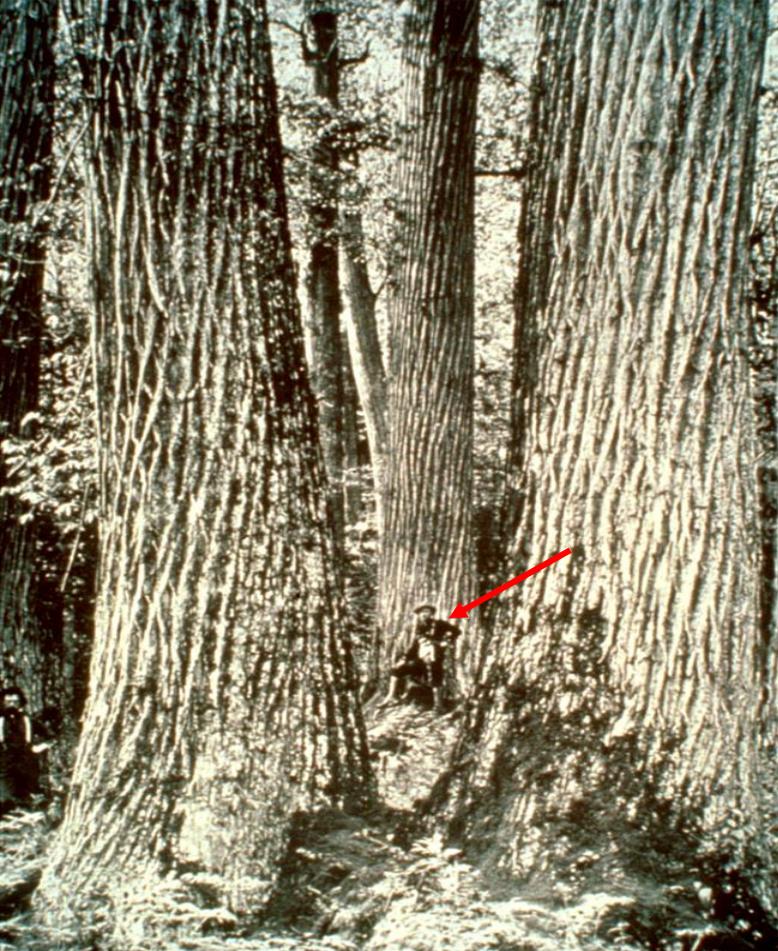
- **Reencuentros de patógenos exóticos con especies vegetales nativas con las cuales no han co-evolucionado**
- **Reencuentros de especies vegetales exóticas con patógenos nativos en las zonas de producción con los cuales no han co-evolucionado**
- **Patógenos no especializados capaces de causar nuevas enfermedades en huéspedes desconocidos hasta ahora**

# Reencuentros de especies vegetales nativas con patógenos exóticos introducidos en nuevas áreas (I)

## Chancro del castaño americano (*Castanea dentata*/*Cryphonectria parasitica*)



# Reencuentros de especies vegetales nativas con patógenos exóticos introducidos en nuevas áreas (I)



Bosques de castaño americano devastados (1950's)

Castaños americano sanos en los Appalaches (1900's)

- *Cryphonectria parasitica* es hongo nativo de Asia Oriental
- Las especies asiáticas de castaño son resistentes, pero las especies americanas y europeas son muy susceptibles

# Reencuentros de patógenos exóticos (II): Decaimiento Súbito del olivo (Salento, Italia) (*Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* CoDIRO (Amer. Central)



**2013: 8.000-10.000 ha**  
**2015: >20.000 ha,**

Blanca B. Landa, IAS Córdoba

Foto: Blanca B. Landa

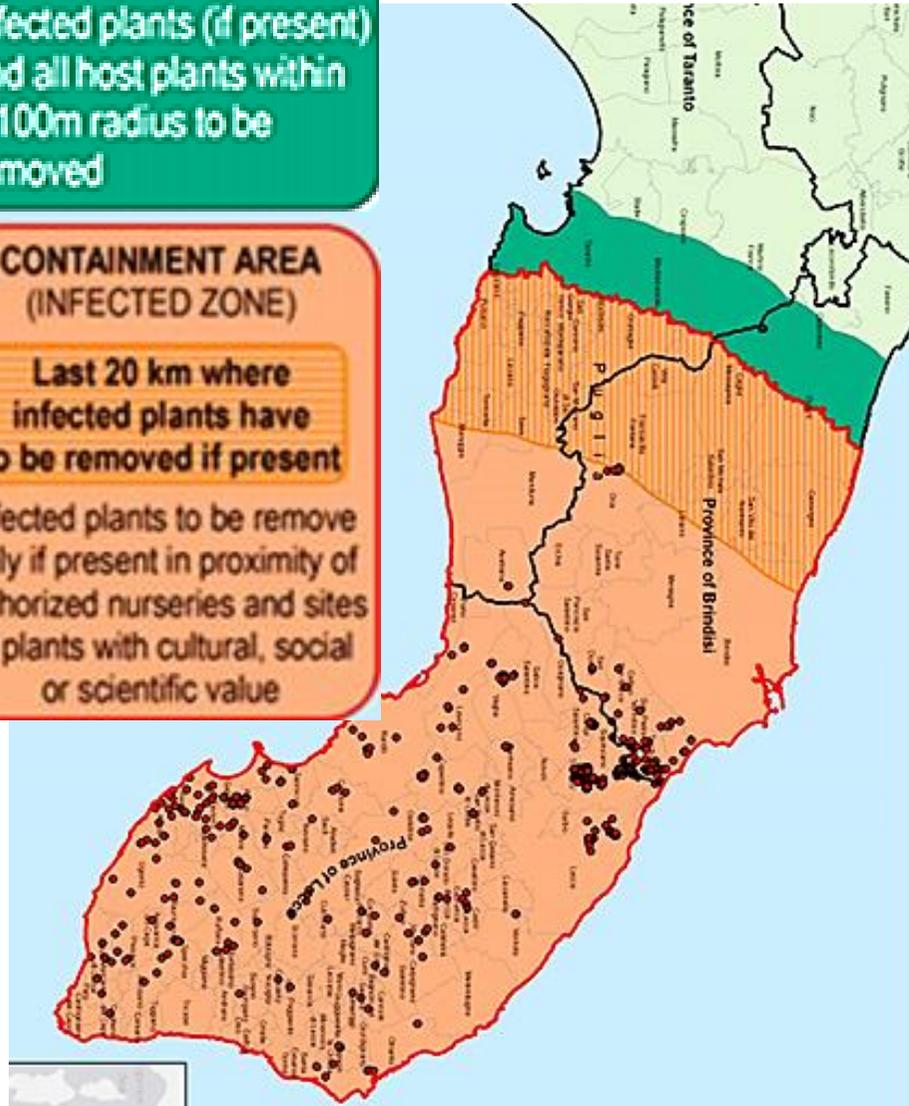


# Expansión de *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca* CoDIRO en Salento (Italia) desde la zona de primera detección

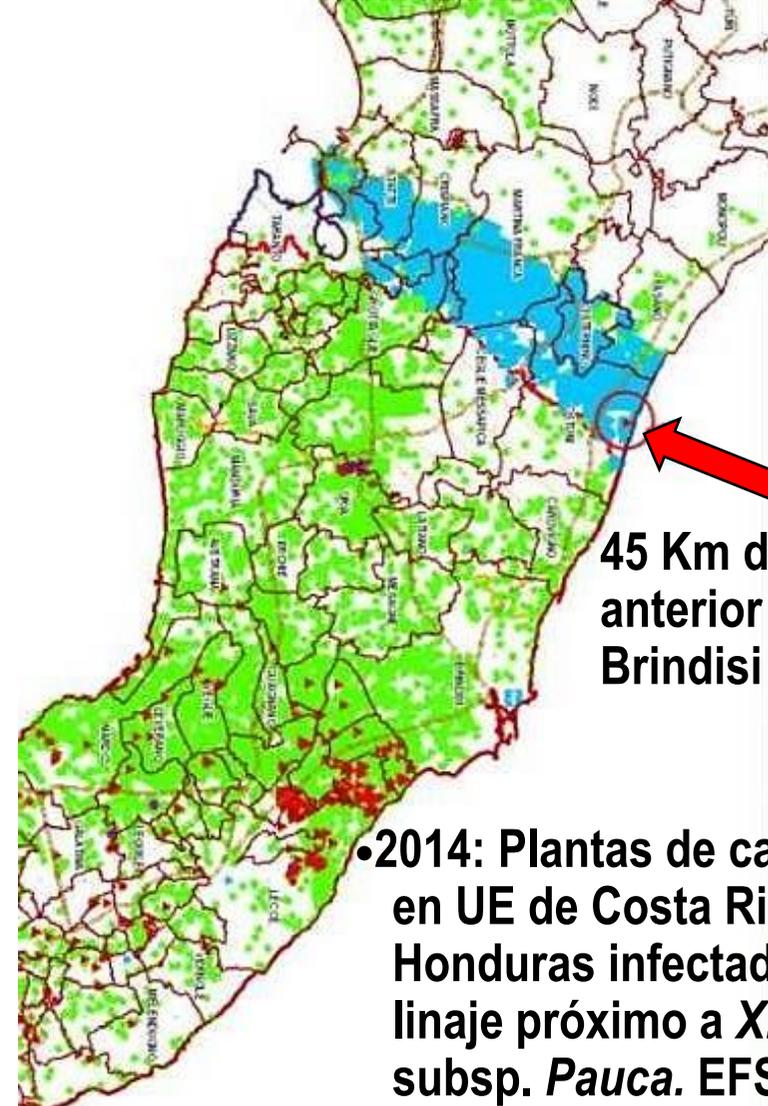
**BUFFER ZONE 10km**  
Infected plants (if present) and all host plants within a 100m radius to be removed

**CONTAINMENT AREA (INFECTED ZONE)**  
Last 20 km where infected plants have to be removed if present  
Infected plants to be removed only if present in proximity of authorized nurseries and sites of plants with cultural, social or scientific value

**Febrero 2014**



**Octubre 2016**



45 Km de la detección anterior al sur de Brindisi

•2014: Plantas de café importadas en UE de Costa Rica, Ecuador, Honduras infectadas por un linaje próximo a *X. fastidiosa* subsp. *Pauca*. EFSA, 2015.

# Impacto social de enfermedades emergentes y devastadoras

## \* Decaimiento súbito del olivo (CoDIRO *Xylella fastidiosa* subsp. *pauca*)

FOOD SECURITY

### • *Italy's olives under siege*

Blight alarms officials across Europe

By Erik Stokstad **620** 8 MAY 2015 • VOL 348 ISSUE 6235

sciencemag.org **SCIENCE**

### • *Can Apulia's olive trees be saved?*

By Rodrigo P. P. Almeida **346** 22 JULY 2016 • VOL 353 ISSUE 6297

sciencemag.org **SCIENCE**

### • **50** ELPAÍS Domingo 10 de abril de 2016

**Una bacteria destruye  
los olivos del sur de Italia**

ECONOMÍA Y NEGOCIOS

## \* **i** *Xylella fastidiosa* subsp. *fastidiosa* (Enfermedad de Pierce/vid) detectada en Garden Center, Menorca, en cerezos procedentes de vivero de Tarragona (Noviembre 2016) !

# Huanglongbing: Una amenaza del sector citrícola mediterráneo. Una bacteriosis de cuarentena en la UE transmitida por insectos psílidos



**Candidatus** *Liberibacter africanus*, *Ca. Liberibacter americanus*, *Ca. Liberibacter asiaticus*

*Diaphorina citri* inexistente en la UE (America, Asia)



*Trioza erythrae* (África). Limoneros en las Islas Canarias (2002) y Galicia (2014)



# Repercusión de las introducciones de patógenos exóticos no especializados en nuevas áreas

- Inspecciones en viveros de plantas ornamentales en la Comunidad Valenciana e Islas Baleares en 2001-2006 identificaron **17 especies de *Phytophthora* (5 de ellas nuevas para la ciencia) y 37 nuevos huéspedes de ellas** (Moralejo et al. 2009. Plant Pathology 58.)



**Muerte súbita del roble causada por *Phytophthora ramorum***

- Al menos **47 de 68 especies de *Phytophthora*** detectadas en viveros y plantaciones **en 23 países en Europa son exóticas**. El aumento dramático de introducciones de *Phytophthora* spp. exóticas en Europa está asociado con el **incremento exponencial de importaciones de plantas con substrato de origen extra-europeo** (Jung, 2014. SEF XVII, Lérida)

# Evolución de 'nuevos' patógenos: híbridos interespecíficos en hongos y oomicetos, más virulentos o patogénicos en nuevas plantas

- Considerado un evento raro; nuevos casos descritos desde 1994 asociados con introducciones. Barreras reproductivas menos estrictas entre especies que han evolucionado en aislamiento o geográficamente alejadas

***Phytophthora* × *alni* (*P.* × *multiformis* × *P.* *uniformis*):** Podredumbre del cuello de alisos, **más virulenta que sus parentales**

***Melampsora* × *columbiana* (*M.* *medusae* × *M.* *occidentalis*):** Roya del chopo en híbridos de *Populus* spp. **resistentes a *M.* *occidentalis***

***Blumeria graminis* f. sp. *triticales* (*B.* *graminis* f.sp. *tritici* × *B.* *graminis* f.sp. *secalis*):** Específicamente **adaptado a triticales durante los últimos 50 años**

***Verticillium longisporum* (Múltiples especies y eventos: Linajes D1 y D2 de *V.* *dahliae* × *Verticillium* spp. A1 y D1):** Rayado del tallo **en crucíferas no susceptibles a *V.* *dahliae***

# **Cambios en los escenarios de la Sanidad Vegetal: Reemergencias de enfermedades asociadas con innovaciones tecnológicas en la agricultura moderna**

---

## **\* Homogeneidad genética de los cultivos y desarrollo de razas supervirulentas**

- La Roya negra del tallo del trigo y la raza UG99 del hongo *Puccinia graminis f. sp. tritici***

## **\* Intensificación en el manejo de los cultivos**

- La Necrosis de la espiga del trigo y cebada y el no-laboreo en monocultivos de cereales**
- La Verticilosis del olivo y la intensificación en la producción oleícola**

# Nuevas virulencias y reemergencia de la Roya negra del tallo del trigo: Desarrollo de la raza supervirulenta UG99 de *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*

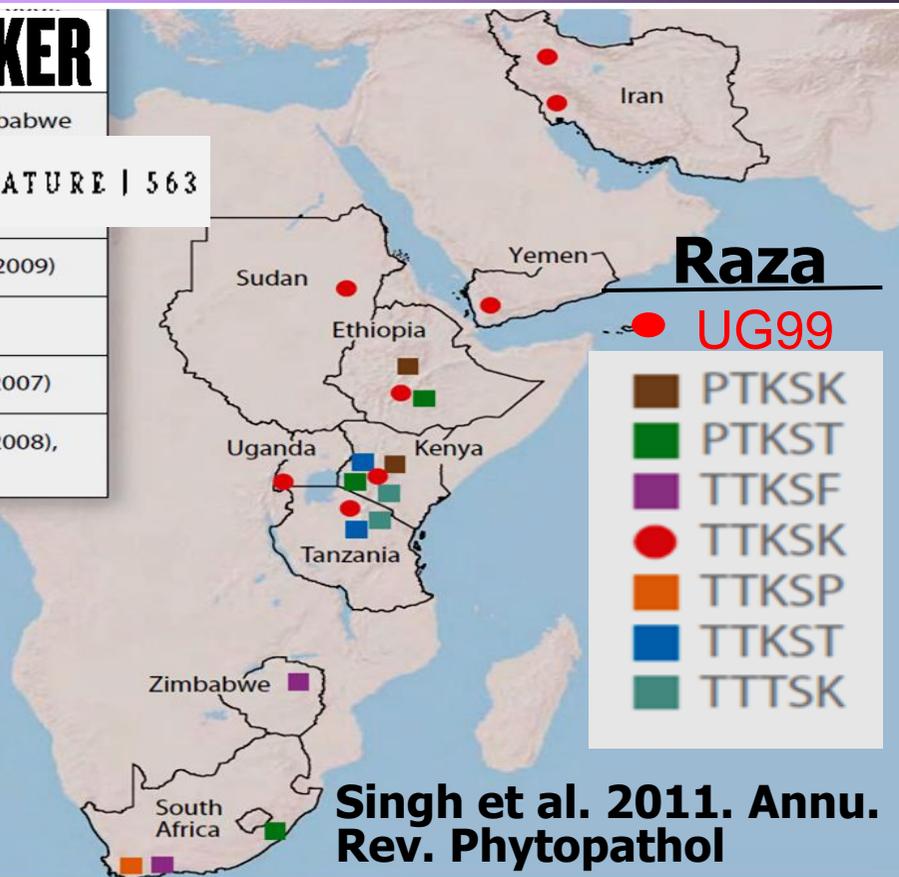


## THE WHEAT STALKER

BY GAYATHRI VAIDYANATHAN babwe

30 JUNE 2011 | VOL 474 | NATURE | 563

TTTSK	Kenya (2007), Tanzania (2009)
TTKSP	South Africa (2007)
PTKSK	Kenya (2009), Ethiopia (2007)
PTKST	Ethiopia (2007), Kenya (2008), South Africa (2009)



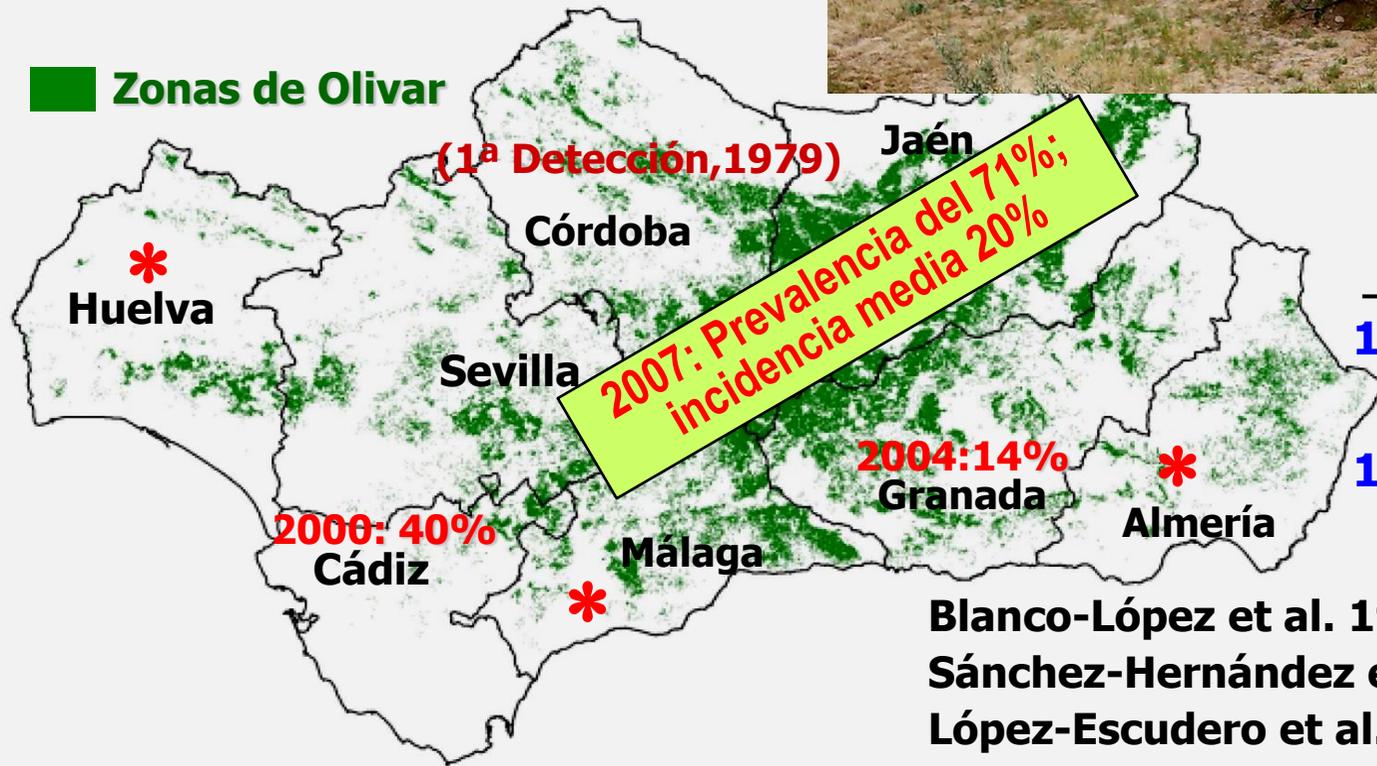
Descrita en Uganda en 1998, y subsiguiente desarrollo y dispersión de siete variantes en un solo linaje clonal que difieren en virulencia sobre los genes de resistencia *Sr21*, *Sr24*, *Sr31* y *Sr36*, a las que son susceptible el 90% de todas las variedades de trigo disponibles

# La Verticilosis del olivo (*Verticillium dahliae*) en Andalucía

Diagnosticada también en:  
Aragón, Cataluña, Castilla-La  
Mancha, Extremadura, Islas  
Baleares, Navarra y Valencia  
(Jiménez Díaz et al., 2003. Vida  
Rural 176.)



**Zonas de Olivar**



## Prevalencia de la Verticilosis en el Valle del Guadalquivir

1980-83: 38,5%, olivares adultos  
10-90% árboles afectados

1995-96: 39,3%, olivares jóvenes

Blanco-López et al. 1984. Phytopathol. Mediterr. 23.  
Sánchez-Hernández et al. 1998. Eur.J. Plant Pathol. 104.  
López-Escudero et al. 2010. Phytopathol. Mediterr. 49.

# Cambios recientes en el tipo de cultivo y su manejo en el olivar en Andalucía

**Olivar tradicional**



- **Nuevos sistemas de cultivo**
  - Plantones auto-enraizados
  - **Alta densidad de plantación**
  - Uso de suelos fértiles, o no cultivados
  - Riego por goteo, cubiertas vegetales
  - Recolección mecanizada

**Seto superintensivo**

**Plantación intensiva: 600 olivos/ha (2,5 años)**



**Olivar moderno**

**1.5000 olivos/ha (2 años)**



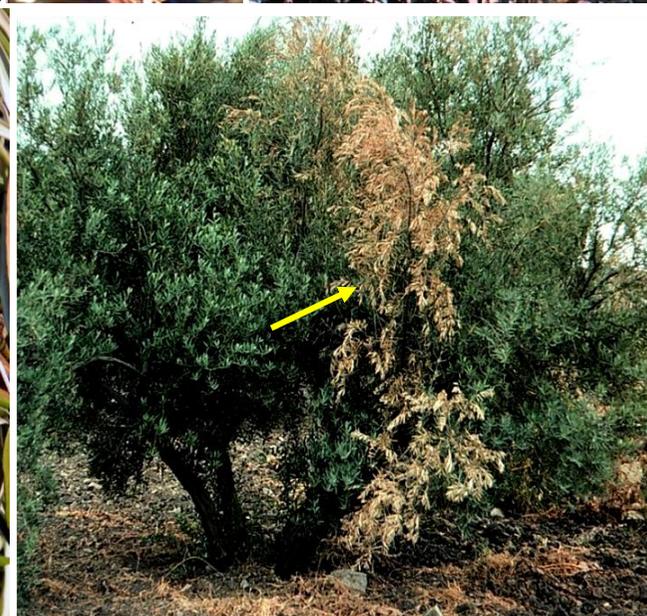
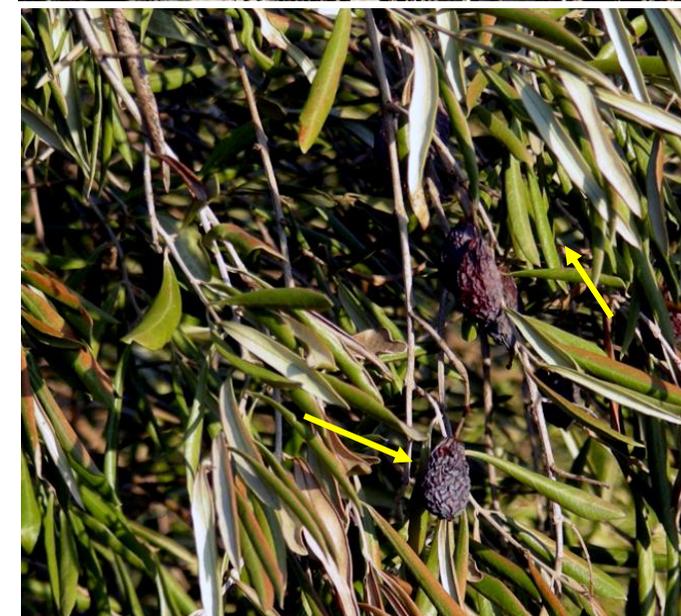
**Olivar moderno**

**3.000 olivos/ha (2 años)**



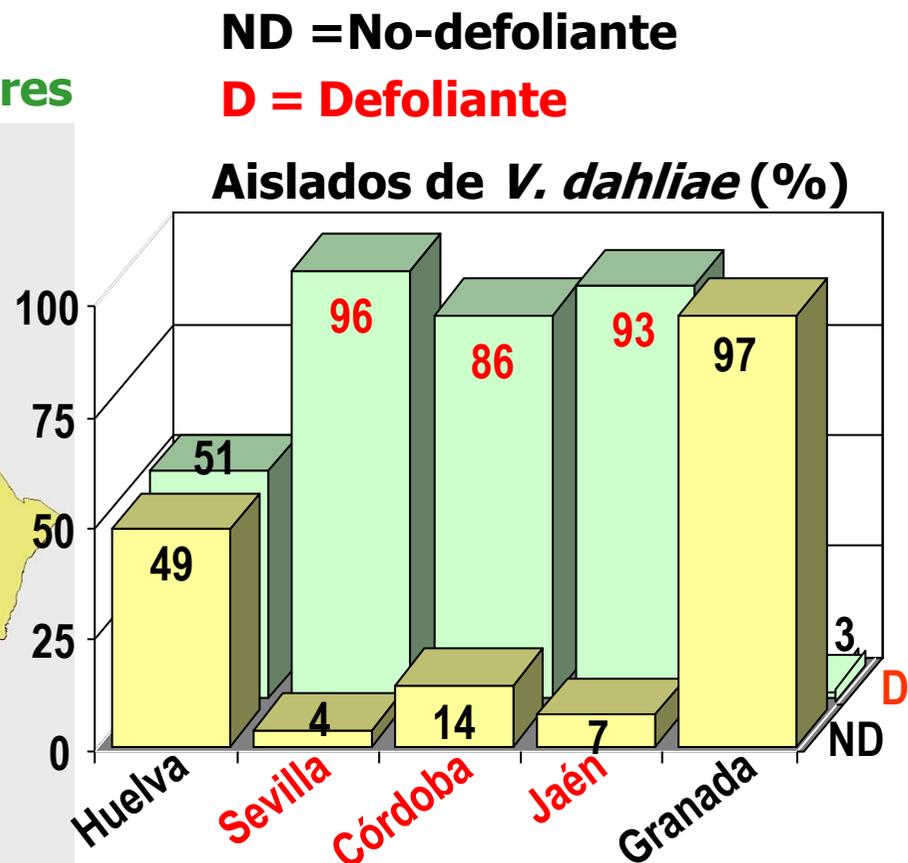
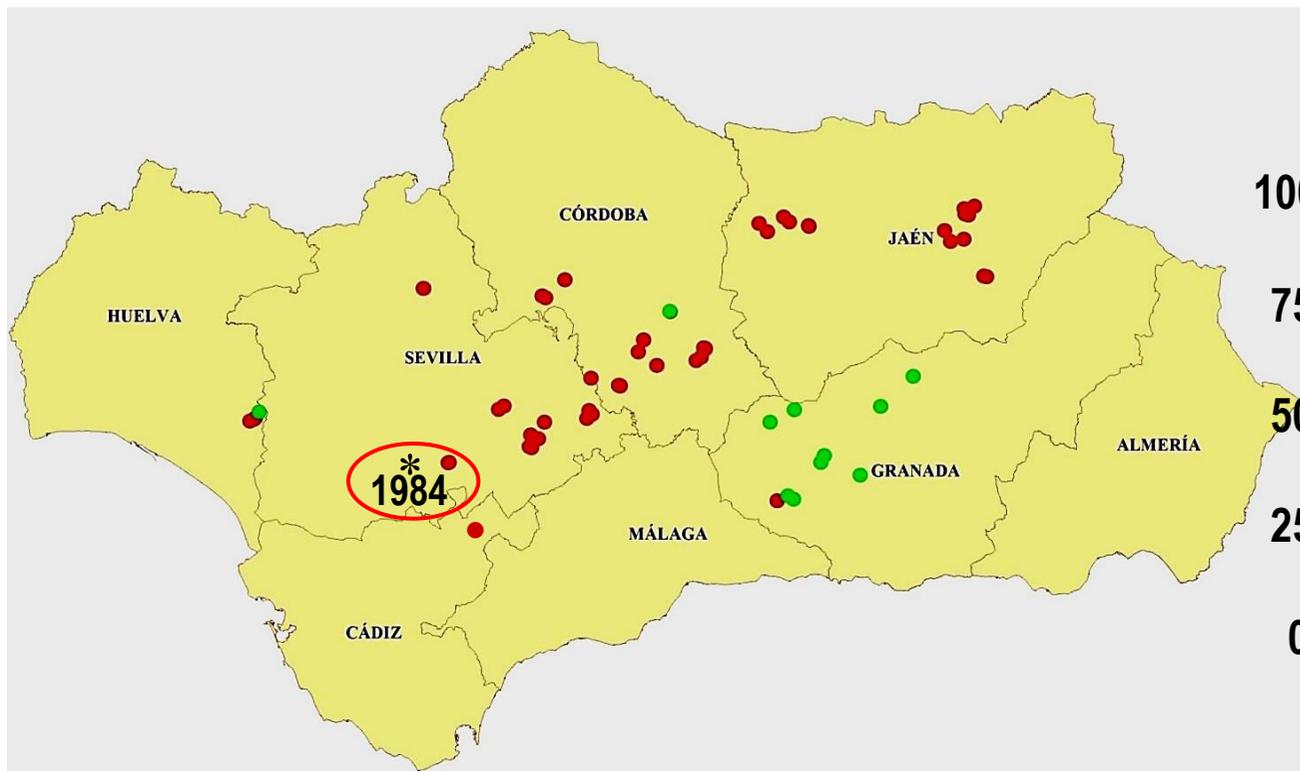
# Síndromes y patotipos en la Verticilosis del olivo

**Decaimiento lento (1980) vs Defoliante (1997)**



# Distribución y prevalencia de los patotipo defoliante y no-defoliante de *Verticillium dahliae* que infectan olivo en Andalucía

- Defoliante: 78% de los aislados de *V. dahliae* en el 83% de los olivares,
- No-defoliante: 22% de aislados en 17% de olivares



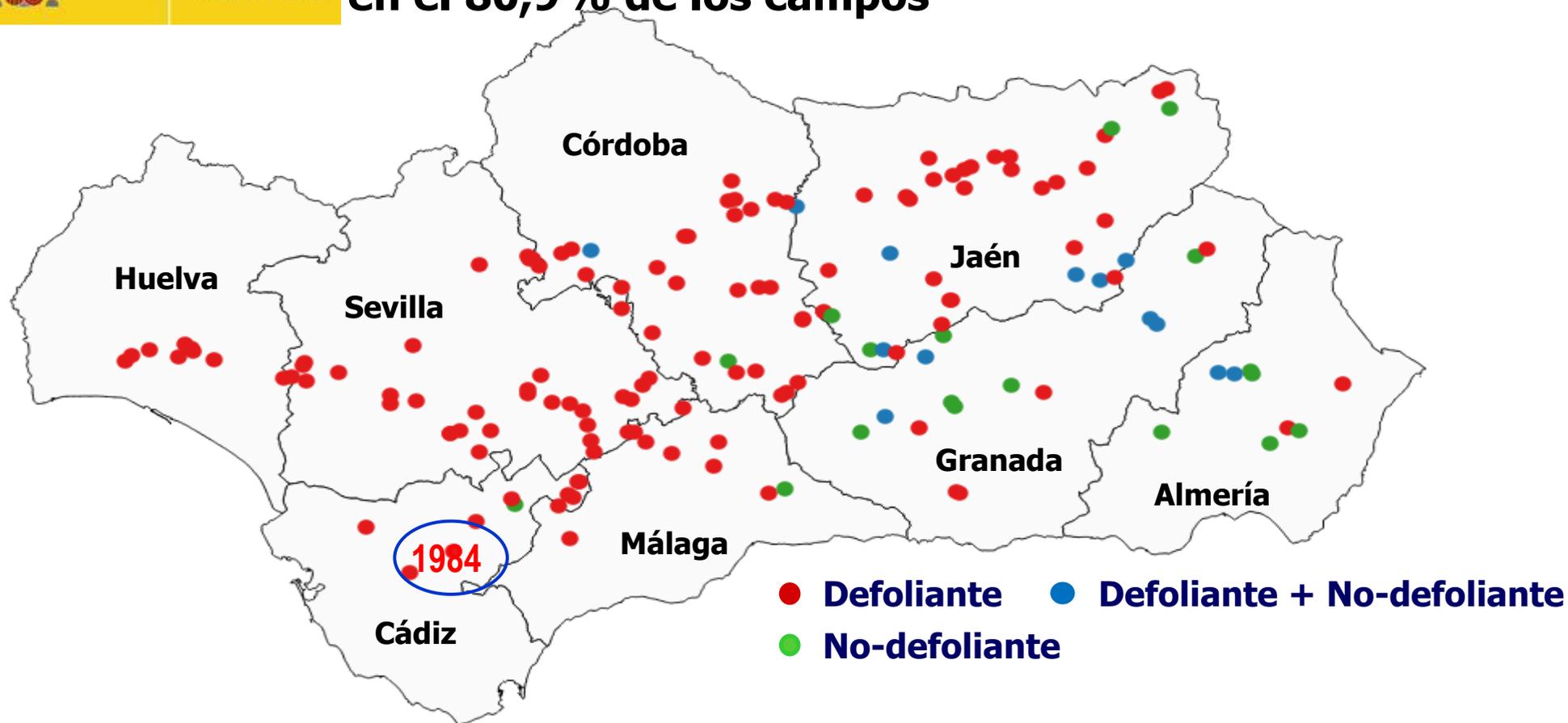
Basado en 637 aislados de *V. dahliae* de 433 olivos en 65 olivares (2005-2006)

# Distribución actual de los patotipos de *Verticillium dahliae* que infectan olivo en Andalucía (2016)

Proyecto: AGL-2012-37521



Basado en 362 olivares elegidos arbitrariamente en 123 municipios en toda Andalucía: El patotipo D se encuentra en el 80,9% de los campos



**El patotipo D debe ser la diana principal para el control de la Verticilosis en olivo**

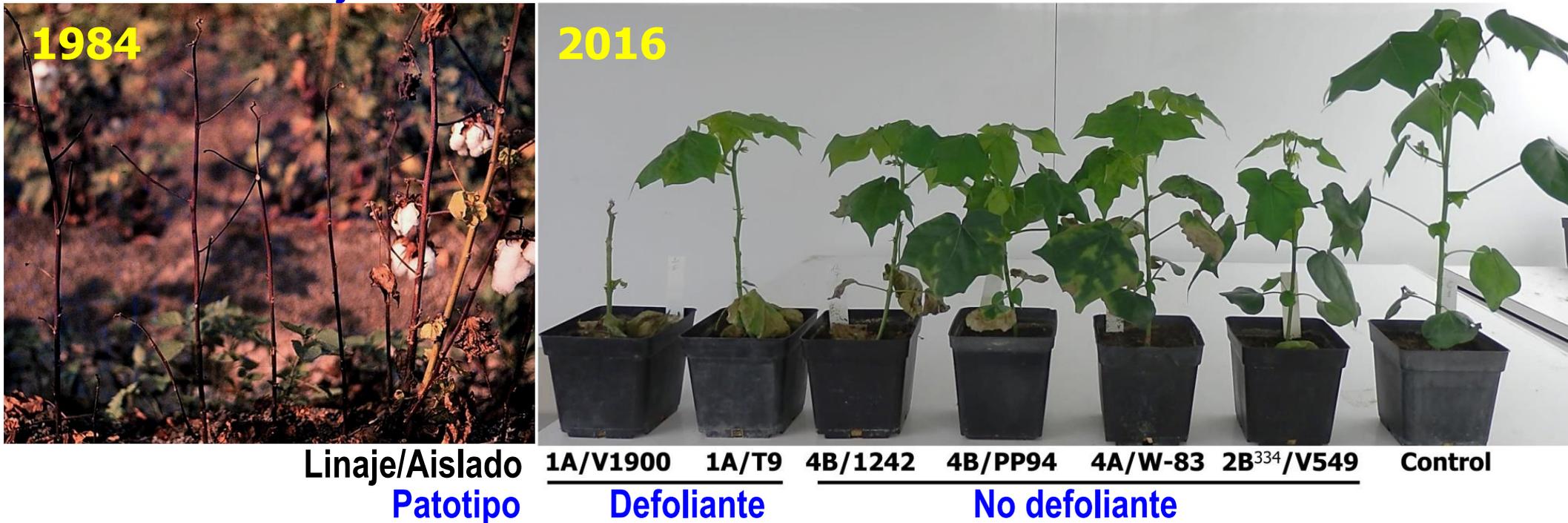
# **Distribución actual de los patotipos de *Verticillium dahliae* que infectan olivo en Andalucía (2016)**

**Variabilidad genética en una muestra de 57 aislados de algodón y olivo a lo largo de de 350 km en el Valle del Guadalquivir durante el periodo 1984-2006:**

- Los aislados son genéticamente muy similares, y genéticamente no se diferencian entre si por la planta de origen, el año de muestreo o la zona de procedencia**

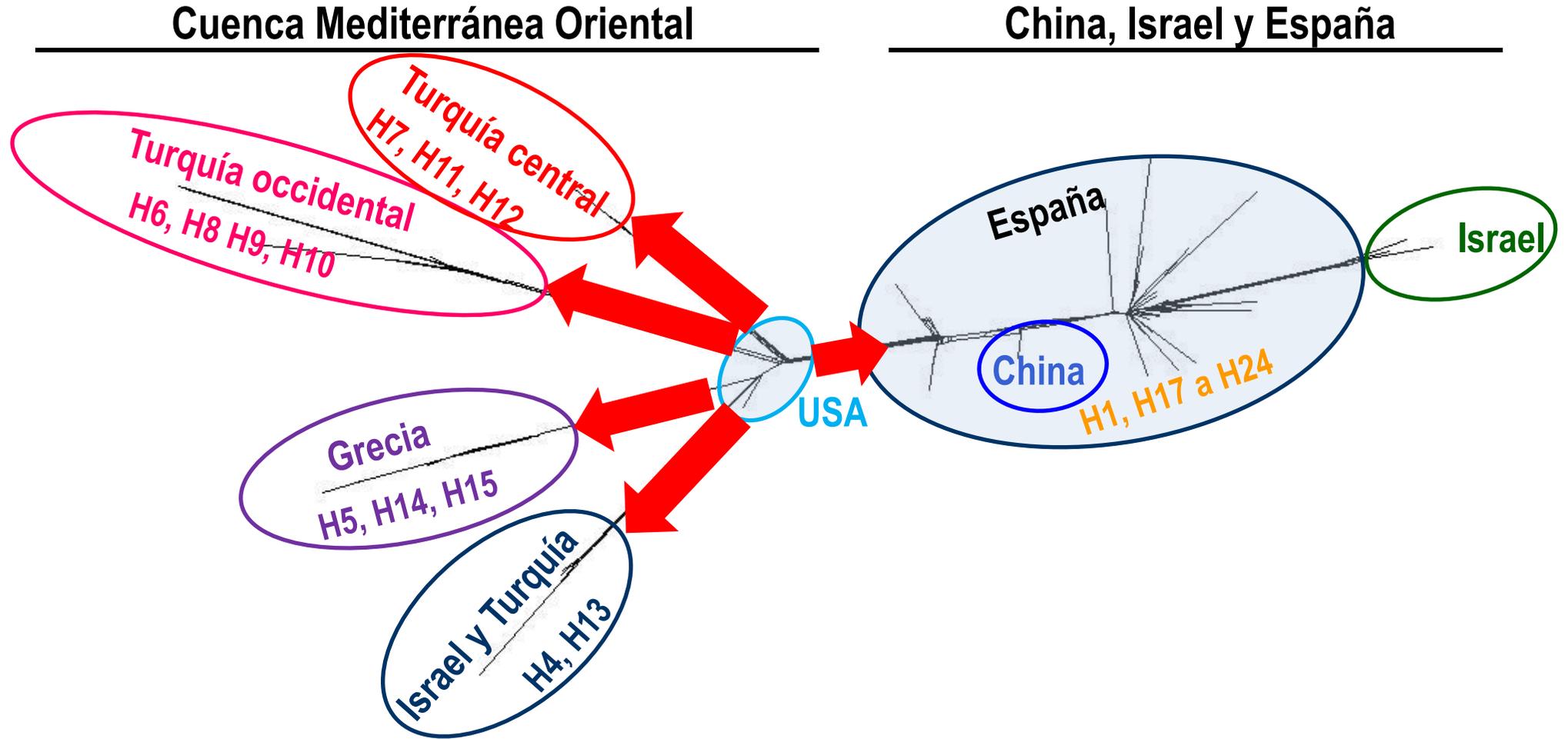
# ¿Cual es el origen del patotipo defoliante de *V. dahliae* en Andalucía?

- Hongo de reproducción asexual y estructura clonal (9 linajes): El patotipo D de algodón circunscrito en el linaje 1A, y patotipo ND comprendido en todos los demás linajes



- ¿Es originario de EE UU?: Identificado primero en algodón (1960s) en California pero predominante en Arizona, N. México y Texas, ¿causante de ataques severos en algodón de regadío en áreas desérticas vírgenes en 1920? (Bell,1992)
- ¿Se ha originado por mutación en la población nativa original ND en Andalucía o fue introducido desde los EE. UU.?

# Origen y migración del linaje 1A (patotipo D) de *V. dahliae* inferidos de análisis filogenético y genealógico de poblaciones de diversa procedencia geográfica



## **Origen y migración del linaje 1A (patotipo D) de *V. dahliae* inferidos de análisis filogenético y genealógico de poblaciones de diversa procedencia geográfica**

---

**El linaje 1A/D se originó en los EE.UU. mediante mutaciones en un linaje antepasado ND solo identificado en ese país. Su expansión en la Cuenca Mediterránea es consecuencia de al menos cinco introducciones (¿semillas de algodón infectadas?) desde poblaciones originarias, y ejemplo de rápida expansión clonal de biotipos de hongos fitopatógenos altamente adaptados y virulentos sobre huéspedes exóticos con los que no han coevolucionado (Ej., el olivo)**

# Dispersión de *Verticillium dahliae* a larga distancia en plantas asintomáticas producidas en viveros registrados y agua contaminada utilizada para riego

- La producción de material de plantación en viveros de olivo registrados debe satisfacer la calidad CAC (*Conformitas Agraria Communitatis*) pero no obliga la certificación sanitaria
- La categoría CAC (Mínima exigencia de calidad para comercializar material propagativo basada en la ausencia de síntomas de 'patógenos cualificados' o signos de ellos) no es garantía contra la infección por *V. dahliae*
- Inspección de 714 viveros registrados CAC en 2006/2007 (Dirección General Producción Agraria, J.A) utilizando protocolo de detección del ADN in planta : El 15% de los viveros tenían plantones asintomáticos infectados por *V. dahliae*
- *Verticillium dahliae* en agua de pozo (61%) y embalsada del Guadalquivir (25%) de goteros de riego en 86% de olivares afectados estudiados (Rodríguez y Bejarano. 2007. Bol. San. Veg. Plagas 33), y en agua de estaciones de bombeo de comunidades de regantes (García-Cabello et al. 2012. Eur. J. Plant Pathology 133)

# Repercusiones negativas de la amplia distribución y prevalencia del patotipo defoliante (D) de *V. dahliae* sobre el control de la Verticilosis del olivo

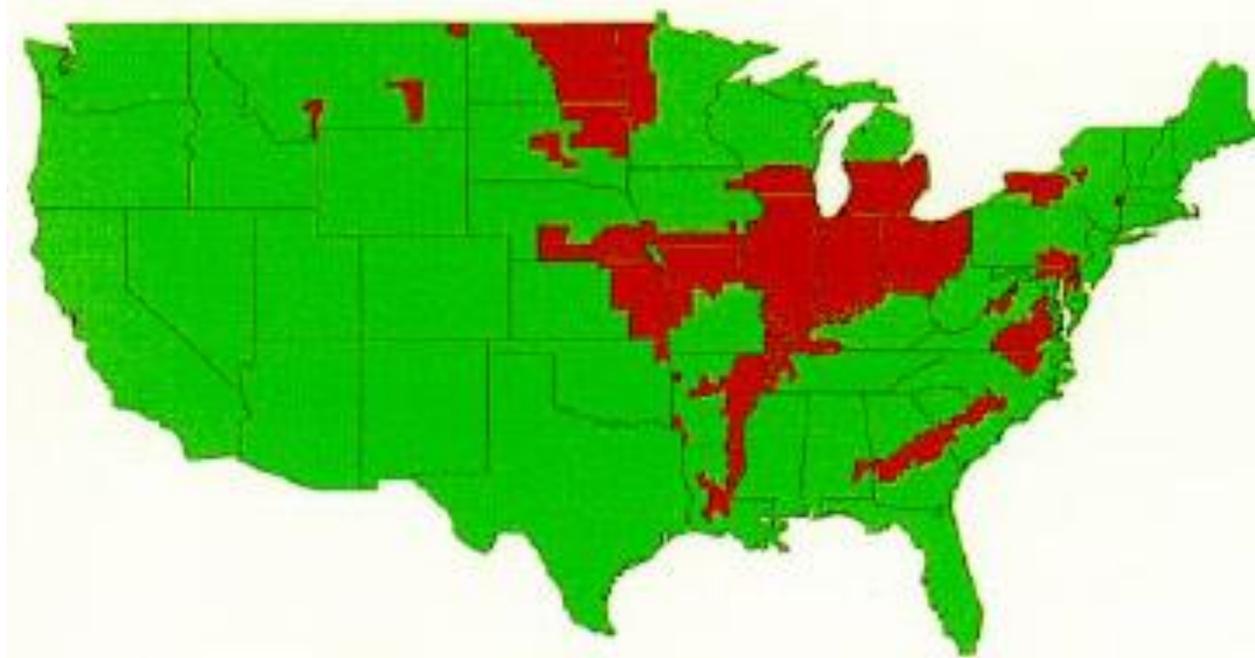
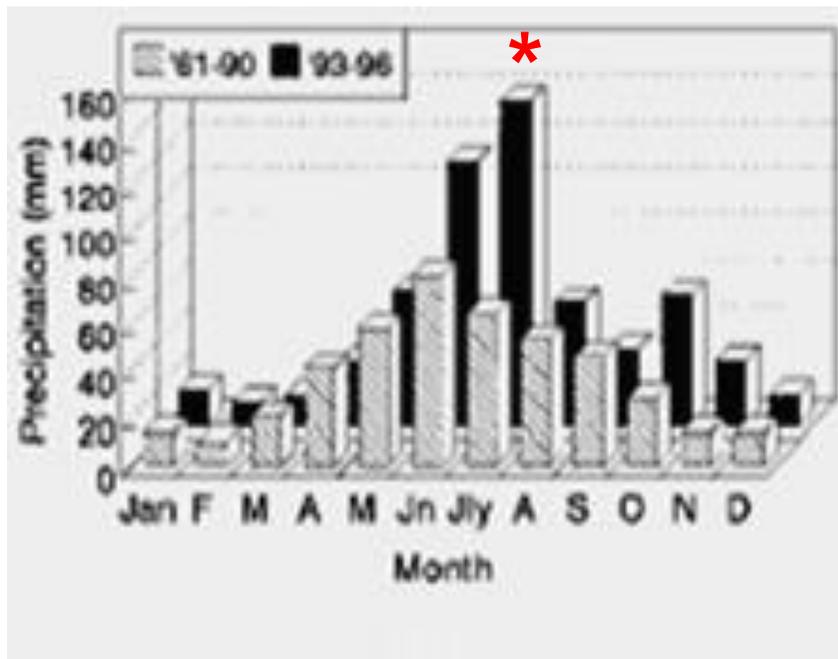
- Incremento de virulencia sobre cultivares resistentes al patotipo ND
- Disminución del umbral de densidad de inóculo en el suelo para ataques severos en cvs. susceptibles (Ej., 'Picual'; patotipo D: 64% de plantas enfermas con 10 microescl./g suelo. **No enfermedad con igual cantidad de inóculo del patotipo ND**)/ **Incremento de riesgo en cvs. resistentes con elevado inóculo**
- Óptimo térmico para la infección superior (16°-24°C) al del patotipo ND (16-20 °C)

Cultivar	No Defol.	Plantas afectadas (%)	
		D (ms./g. suelo)	
		5	21
Cornicabra	MS	75	100
Picual	S	54,2	100
Hojiblanca	S	8,3	87,5
Arbequina	S	8,3	83,3
Frantoio	R	8,3	72,2
Empeltre	R	4,2	52,1
Changlot Real	R	33,3	54,2
Koroneiki	R	72,2	72,2

# Reemergencias e intensificación agrícola: La Necrosis de la espiga de cebada y trigo de primavera (*Fusarium graminearum*) en los EEUU y la acumulación de restos infectados en monocultivos de no-laboreo (1991/1996)



# Reemergencias e intensificación agrícola: La Necrosis de la espiga de cebada y trigo de primavera (*Fusarium graminearum*) en los EEUU y la acumulación de restos infectados en monocultivos de no-laboreo (1991/1996)



- Régimen de lluvias en años epidémicos (en negro) comparado con una serie de 30 años de precipitación normal en Dakota del Norte (en gris)

# Impacto económico y social de la reemergencia de la Necrosis de la espiga de cebada y trigo en los EE. UU. de América causada por el hongo *Fusarium graminearum*

## Naturaleza de la Pérdida

<b>Año</b>	<b>Rendimiento (%)</b>	<b>Monetaria (Millones \$)</b>	<b>Área geográfica</b>
<b>1991</b>	<b>25</b>	<b>-----</b>	<b>11 Estados; 6,1 x 10<sup>6</sup> ha</b>
<b>1993</b>	<b>45</b>	<b>1.000</b>	<b>Minnesota, Dakota N, S; Manitoba; 4,0 x 10<sup>6</sup> ha</b>
<b>1995</b>	<b>-----</b>	<b>38-100</b>	<b>Illinois, Michigan, Ohio</b>

# Impacto económico y social de la reemergencia de la Necrosis de la espiga de cebada y trigo en los EE. UU. de América causada por el hongo *Fusarium graminearum*

Diseases ravage wheat

Grain/ Wheat scab is forcing farmers to abandon crops

Valley grain diseased

To harvest or destroy crops? Disasters force tough choices on farms



Vomitoxin rears its ugly head

Wheat scab shocks Vall  
 •Disease is widespread, elevators expect discounts

A blight on the land

•Lawmakers seek compensation to farmers for diseased wheat

Crop disease, flood damage will be felt in the N.D. economy

Crop scouts think harvests will be smaller than expected

Farmers panic

Ruined wheat field

Fields of disappointment



Fig. 16. Will wheat scab contribute to shortage of world food supply? Cartoon by Trygve Olson, May 6, 1996: THE FORUM (Fargo/Moorhead regional newspaper)

# Nuevos conceptos, paradigmas y retos en la investigación fitopatológica: Avances en la tecnologías de secuenciación del ADN, metagenómica, transcriptómica, acceso a datos genéticos.....

---

- Las morfo-especies en hongos, oomicetos y nematodos fitoparásitos como complejos de **especies filogenéticas crípticas** (¿propiedades biológicas?)
- Extensión del **endofitismo microbiano**: Nicho ecológico de hongos patógenos en plantas no susceptibles (Ej., *Verticillium dahliae*) y reducto de diversidad de hongos y bacterias de biocontrol. **Microbioma rizosférico y fitobioma**
- Mecanismos de patogénesis: '**Efectores**' y su aplicación para la mejora de resistencia (Gibriel et al. 2016. The age of effectors: Genome-based discovery and applications. Phytopathology 106. En prensa).
- La naturaleza de la resistencia en las plantas a microorganismos infecciosos:
  - \* **Sistema inmune basal** de reconocimiento molecular de componentes estructurales altamente conservados superpuesto sobre
  - \* **Inmunidad inducida** por el reconocimiento de los 'efectores' del patógeno que anulan la expresión de los mecanismos del sistema inmune basal

# Especies crípticas en hongos fitopatógenos de relevancia agrícola: El complejo de especies *Pyricularia oryzae* patogénico en 50 especies de *Poaceae*



- Necrosis del arroz distribución mundial

- **Necrosis del trigo:**

- \* Descrita en Brasil en 1985, es causada por **las tres especies fúngicas**, 3 mill. has afectadas en países limítrofes en la actualidad

- \* *Pyricularia graminis-tritici* introducida en Bangladesh semillas infectadas; pérdidas de 100% en 16% de la superficie de trigo en Febrero 2016

Castroagudín et al. 2016. *P. graminis-tritici*, a new *Pyricularia* species causing wheat blast. *Persoonia*.

# Especies crípticas en oomicetos fitopatógenos de relevancia agrícola: El complejo de especies *Peronospora arborescens* causante de Mildiu sistémico en *Papaver* spp. [(Voglmayr et al. 2014. PLoS ONE 9(5))]



- **Adormidera cultivada (*Papaver somniferum*): *Peronospora somniferi***
- **Papaveráceas arvenses:**
  - \* *Papaver apulum*: *Peronospora apula*; *Papaver rhoeas*: *Peronospora arborescens*
  - \* *Papaver hybridum*: *Peronospora cristata*
  - \* **La especies arvenses de *Papaver* spp. que infestan cultivos de adormidera no contribuyen con inóculo para los ataques de Mildiu en adormidera.**

## Retos de la Sanidad Vegetal: I+D

---

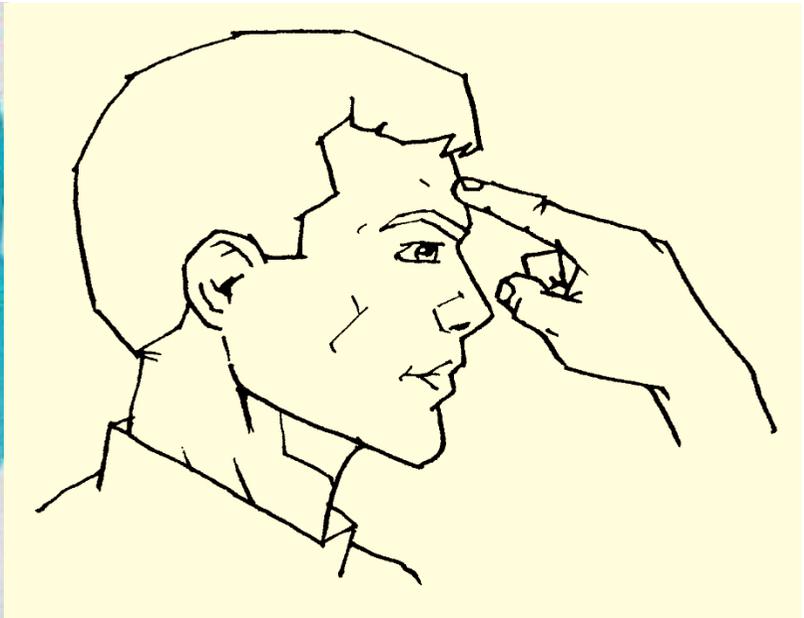
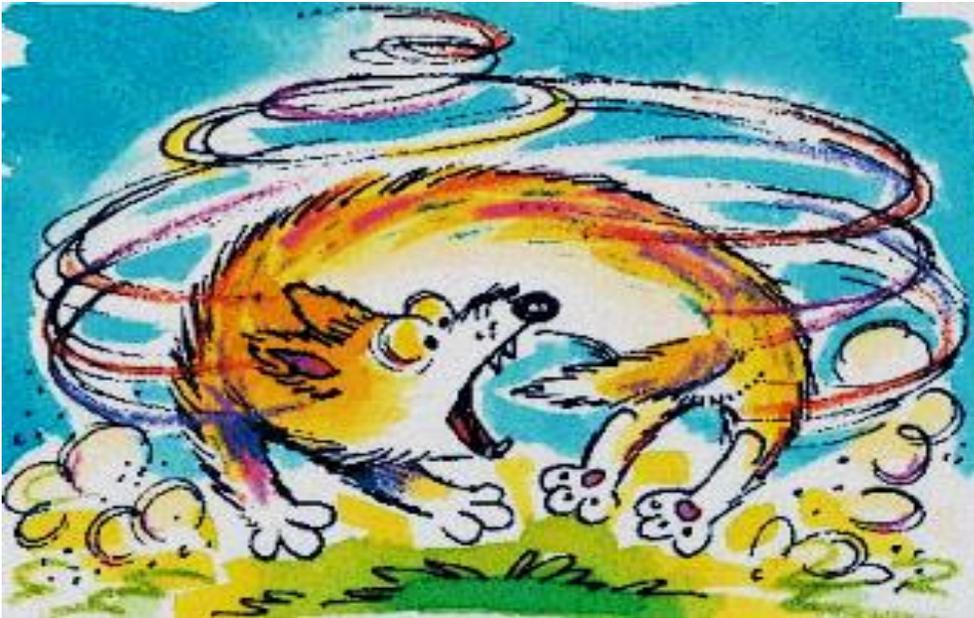
- Real Decreto 1311/2012 de septiembre 2012 y el Plan de Acción Nacional de enero 2013 sobre el **Uso Sostenible de los Productos Fitosanitarios** (trasposición de la Directiva 2009/128/CE)
- Se establece la *gestión integrada como estrategia fundamental para promover la sanidad de los cultivos* y se fomenta el uso de medios no químicos para ello
- El Manejo (Gestión) Integrado de enfermedades (IPM):  
Un **paradigma de la Sanidad Vegetal con más de 55 años de historia** (Stern et al. 1959: ICConcept)
- De **complejidad** superior a aquélla con que suele ser percibida y necesitada todavía de **investigación y desarrollo** para su práctica eficiente

# Enfermedades estratégica en sectores productivos y masas forestales clave para la economía española (Acción Sectorial INIA 2013-0015-00-00/IPM): AESaVe, DG Sanidad Vegetal, Servs. SV, SEEA, SEF, SEMh,

- Verticilosis del olivo (*V. dahliae*)
- Enfermedades de la madera de la vid (Complejo fúngico)
- Antracnosis del olivo (*Colletotrichum* spp.)
- Podredumbre parda de frutales de hueso (*Monilinia* spp.)
- Oídio: cucurbitáceas (*P. xanthii*) y vid (*E. necator*)
- Royas amarilla de los cereales (*P. striiformis* f. sp. *tritici*)
- Mildiu de la vid (*P. viticola*)
- 'Seca' de la encina (*Ph. cinnamomi*)
- Chancro resinoso del pino (*F. circinatum*)
- Fuego bacteriano de las Pomoideas (*E. amylovora*),
- Necrosis bacteriana del almendro y frutales de hueso (*X. arboricola* pv. *pruni*)
- Chancro bacteriano del kiwi (*P. syringae* pv. *actinidiae*)
- Necrosis apical del mango, o de yemas del peral (*P. syringae* pv. *syringae*)
- La Tristeza de los cítricos (CTV)
- La Sharka de los frutales de hueso (PPV)
- Anillos necróticos de la patata (PVY)
- Mosaicos de hortícolas (CMV)
- Amarilleos de hortícolas (TYLCD, ToLCNDV)
- Nematodos noduladores (*Meloidogyne* spp.)
- Nematodos del quiste (*Globodera* spp.)

## Más investigación fitopatológica, pero ...

La potencia de la tecnología para la investigación es mayor que nunca y permite explorar aspectos que antes eran inalcanzables, **pero no debe determinarla**



El éxito en la investigación fitopatológica será determinado por abordajes conceptuales o por problemas de naturaleza práctica y la **demonstración de los avances en el campo**

# Retos de la Sanidad Vegetal: Formación Especializada

---

- **Globalmente, los escenarios de la Sanidad Vegetal son:**
  - 1) complejos,**
  - 2) influenciados por la intensificación de introducciones de agentes exóticos, los cambios en las tecnologías de producción y medioambiente, y**
  - 3) insuficientemente percibidos**
  
- **Afrontar dichas complejidades requiere ineludiblemente formación universitaria especializada**
  
- \* **BSPP 'Plant pathology education and training in the UK: An Audit. 'A .. case must be made to policy makers of the importance of Plant Pathology and the need to teach and train the next generation of plant pathologists'**

# Retos de la Sanidad Vegetal: Formación Especializada

**Carga docente obligatoria de Sanidad Vegetal en 51 Grados y 29 Masters de Ing. Agronómica o Forestal de 42 universidades españolas (Prof. R. Albajes et al. 2016, no publicado)**

Créditos (Nº)	Grado		Master	
	Nº	%	Nº	%
0-6	31	60,8	28	96,6
6-12 *	20	39,2	1	3,4
>12	0	0,0	0	0,0

**\* la acreditación oficial como Asesor de GI según RD1311/2012 de Uso Sostenible de PPF requiere un mínimo de 12 créditos en disciplinas de la Sanidad Vegetal (Artículo 3)**

# Consideraciones finales

## Medicina de los Vegetales: ¿Una nueva profesión basada en formación especializada más allá de la Agronomía?

- **Conjunto de disciplinas científicas cuya razón de ser es precaver (prevenir) la incidencia de enfermedades, plagas y malas hierbas en los cultivos y evitar o reducir las pérdidas de rendimiento de las producciones agroforestales que causan conjuntamente**
- **1993: Introducción de 'Medicina de los Vegetales' ('Plant Medicine') y primer programa de Medicina Vegetal en la Univ. de Florida (G. Agrios)**
- **1998: Formación multidisciplinar en Medicina Vegetal, 'que sirvan a los cultivos de plantas como los doctores en Medicina Veterinaria sirven a los animales domésticos' (Browning, 1998. Annu. Rev. Phytopathol. 36)**

**15**

**The introduction of Phytiatry (Plant medicine) in Universities as a distinct science, is a primary necessity for food security and modernization of global agriculture**

*Eleftherios (Eris) C. Tjamos*

*Perspectives of Plant Pathology in genomic era (2016) : 305-321*

*Editors : Dr. P. Chowdappa, Pratibha Sharma, Dinesh Singh & A.K. Misra*

*Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi - 110 002*

# Semana de la Ciencia y la Tecnología en el CSIC: Los Retos de la Agricultura

**Rafael Manuel Jiménez Díaz**  
**¡Muchas gracias por su atención!**



**Real Academia de  
Doctores de España**



**Instituto de Agricultura  
Sostenible**



**Universidad de  
Córdoba**



**Real Academia  
de Córdoba**