

FRUTICULTURA

Modelos logísticos predictivos de la cancrrosis de los cítricos en Bella Vista y su uso en el área citrícola española

R.C. Moschini¹; B.I. Canteros²; G. Marcó³ y G. Cazenave¹

¹Instituto de Clima y Agua, CIRN INTA Castelar. Los Reseros y Las Cabañas s/n (1686) Hurlingham, Buenos Aires, Argentina. ²INTA EEA Bella Vista, Corrientes. ³INTA EEA Concordia, Entre Ríos. moschini.ricardo@inta.gob.ar

Recibido: 11/12/13

Aceptado: 10/6/15

Resumen

Moschini, R.C.; Canteros, B.I.; Marcó, G. y Cazenave, G. 2015. Modelos logísticos predictivos de la cancrrosis de los cítricos en Bella Vista y su uso en el área citrícola española. *Horticultura Argentina* 34(83): 31-39.

La cancrrosis de los cítricos, causada por la bacteria *Xanthomonas citri* subsp. *citri*, es una enfermedad cuarentenaria y endémica en el noreste argentino. Observaciones (1991-2008) de la intensidad de la cancrrosis en media estación en pomelo (Bella Vista, Corrientes), se categorizaron binariamente y ordinalmente. A partir de elementos meteorológicos diarios se construyeron variables de regresión hídricas y térmicas, calculadas a partir de la acumulación, desde el 10/7, de 372 grados día (GD; $T_b = 12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) hasta 960 GD y desde 930 a 1175 GD, respectivamente. Los mejores modelos de regresión logística incluyeron el efecto de la interacción

entre DPr (días con precipitación $> 12\text{ mm}$) y DPTxn (días con temperatura máxima $\leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ y mínima $\geq 14\text{ }^{\circ}\text{C}$), obteniendo precisiones de predicción de 94,4 % (binario) y 83,3 % (ordinal). Ambos modelos fueron corridos en 14 sitios de España y en Bella Vista desde 1980 a 2008. La variable DPr fue la más limitante para la expresión de la bacteriosis en el sector citrícola español, alcanzando un valor mediana de cero en las zonas de alta producción. El factor térmico fue claramente favorable para la evolución de la enfermedad. El efecto del componente interactivo (DPr*DPTxn) redujo predominantemente a cero la probabilidad de que la enfermedad se exprese en niveles moderados a severos en España, difiriendo con el 51,7 % de los años en Bella Vista.

Palabras claves adicionales: Riesgo climático.

Abstract

Moschini, R.C.; Canteros, B.I.; Marcó, G. and Cazenave, G. 2015. Predictive logistic models of citrus canker in Bella Vista and their use in the spanish citrus area. *Horticultura Argentina* 34(83): 31-39.

Citrus canker, caused by the bacterium *Xanthomonas citri* subsp. *citri*, is an endemic and quarantine disease in northeastern Argentina. Mid-season fruit canker intensity observations (1991-2008) in grapefruit cultivar in Bella Vista (Corrientes), were binary and ordinal categorized. From daily weather elements moisture and temperature variables were calculated in time periods beginning after accumulating 372 degree-days (DD) since 10 July, and finishing when the sum reached 985 DD (base $T_d = 12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) and from 930 DD to 1175 DD, respectively. The best logistic regression mo-

del included the effect of the interaction between DPr (days with precipitation $> 12\text{ mm}$) and DPTxn (days with maximum temperature $\leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ and minimum $\geq 14\text{ }^{\circ}\text{C}$) with prediction accuracies of 94.4 % (binary) and 83.3 % (ordinal). Both logistic models were run in 14 sites of Spain and in Bella Vista, from 1980 to 2008. DPr was the most limiting weather factor for the bacterial expression in the spanish citrus sector, reaching a median value of zero in areas of high production. The temperature factor was clearly favorable for the disease progress. The effect of the interactive component (DPr*DPTxn) reduced dominantly to zero the probability that disease reach moderate to severe levels in Spain, differing with 51.7 % of the years in Bella Vista.

Additional keywords: Climate risk.

1. Introducción

La cancrrosis de los cítricos, causada por la bacteria *Xanthomonas citri* subsp. *citri*, es una enfermedad endémica y cuarentenaria en la región noreste de Argentina. Además de reducir el valor comercial de la fruta y afectar a la planta en general, su importancia se centra en las restricciones cuarentenarias impuestas por la Unión Europea. En el Litoral argentino la cepa bacteriana más difundida desde 1975 es la de tipo A o

asiática (Canteros *et al.*, 1985; Stall *et al.*, 1993). Todos los tipos de cítricos son susceptibles a la enfermedad, pero existen variaciones extremas entre especies y cultivares en el comportamiento respecto al patógeno. El pomelo (*Citrus paradisi*) es muy susceptible, mientras que el limón y algunos cultivares de naranja (*C. sinensis*) y mandarina (*C. reticulata*) pueden ser afectados en un grado moderado. El control químico con bactericidas cúpricos, el uso de cortinas rompimiento y la poda de tejido vegetal afectado, son algu-

nas de las prácticas recomendadas para el manejo de la enfermedad (Canteros, 1998; Canteros 2006; Canteros 2009).

La bacteria ingresa a través de estomas o heridas en el tejido joven de hojas, frutos y brotes. Luego se multiplica para formar la clásica lesión corchosa conocida como cancro. La bacteria exuda de lesiones cuando ellas son mojadas por rocío, lluvia o riego. El inóculo bacteriano es fácilmente dispersado por el salpicado de gotas de lluvia, estando este proceso muy favorecido por el viento (Bock *et al.*, 2005), que puede dispersar la bacteria a una gran distancia. Gottwald & Irey (2007) señalaron que cuando la lluvia se combina con vientos de velocidades mayores a los 8 m·s⁻¹, se pueden producir numerosas infecciones nuevas, resultando en severos niveles de enfermedad. Puesto que el inóculo proviene de lesiones en un dado árbol, la eliminación de órganos con síntomas ayudará a decrecer la cantidad de inóculo potencialmente infectivo al registrarse lluvias. El potencial epidemiológico de frutos cosechados para producir inóculo y actuar como fuente de infección fue estudiado recientemente por Gottwald *et al.*, 2009. Estos autores demostraron que es extremadamente improbable que frutos cítricos cosechados y desinfectados en plantas de empaque sean el origen de bacterias que alcancen e infecten especies cítricas susceptibles y se establezcan en un área libre de la enfermedad.

Moschini *et al.* (2005), utilizando observaciones de intensidad de cancrrosis (promedio de las observaciones realizadas a tres distancias de una cortina rompiente ubicada al sur del lote experimental en Bella Vista) durante los ciclos 1991/92 a 2004/05, identificaron al total de días con precipitaciones >12 mm (DPr: calculada entre el 10/10 y el 23/11) y a los días totales con temperaturas máxima >32 °C y/o mínima

<13 °C (DTxn: calculada entre el 24/11 y el 19/12), como las variables meteorológicas más fuertemente correlacionadas con la enfermedad. Usando las mismas observaciones de la enfermedad del lote experimental, se desarrollaron modelos lineales generales ajustados a las especies cítricas de diferentes susceptibilidad (Moschini, 2007). En este caso, las variables meteorológicas de regresión se calcularon en períodos limitados por valores de grados día (temperatura media base = 12,5 °C), acumulados desde el 10 de julio. Para pomelo, las variables hídricas más fuertemente asociadas con la intensidad de cancrrosis fueron DPrV (total de días con registro de precipitación >12 mm y velocidad del viento a 2 m >2,6 km·h⁻¹ y DPR: días totales con precipitación >12 mm (coeficientes de determinación de 0,80 y 0,79, respectivamente). Las correlaciones de ambas variables decrecen cuando se utilizan umbrales inferiores a 12 mm, indicando que lluvias diarias ligeras no tendrían la suficiente energía para el proceso de dispersión bacteriana. Coincidentemente, Wischmeier & Smith (1958) seleccionaron solo eventos de precipitación mayores a 12,7 mm para estimar sus energías en relación a la pérdida de suelo. La variable térmica de mayor correlación (con pendiente negativa) fue DNTxn que suma los días con temperatura máxima >31,5 °C con los que registran temperatura mínima <12 °C.

El presente trabajo, en función de las conclusiones previas, tuvo por objetivo el desarrollo de modelos logísticos basados en variables meteorológicas para estimar la probabilidad de ocurrencia de niveles de intensidad de cancrrosis en pomelo en media estación en Bella Vista y su utilización para analizar el efecto de las condiciones ambientales sobre el patosistema en el área citrícola de España.

2. Materiales y métodos

Un cultivo con Pomelo Red Blush (*Citrus paradisi* Macf.) fue implantado en 1991 en la EEA INTA Bella Vista (28°26' S; 58° 55' W), junto a otras especies cítricas. El diseño experimental fue de bloques completos aleatorizados con tres repeticiones (cinco plantas por parcela dispuestas 7 x 7 metros). Se evaluó la intensidad de la enfermedad en frutos, en distintas fechas, en media estación a cosecha, usando una escala de tres grados: 0 = sin síntomas, 1 = una lesión grande o tres pequeñas, 2 = más de una lesión grande o más de tres pequeñas, por fruto. La intensidad de enfermedad en frutos se calculó como: IO% = (% frutos grado0 + % frutos grado1 + % frutos grado2) / 3. Por ciclo de crecimiento, se seleccionó el máximo valor de

Tabla 1. Valores de intensidad de cancrrosis (IO%) en frutos en media estación observados para pomelo (N = 18) desde el ciclo 1991/1992 al 2008/2009, en Bella Vista.

Ciclo	IO%	Ciclo	IO%
1991/1992	15,3	2000/2001	53,8
1992/1993	76,3	2001/2002	43,0
1993/1994	43,5	2002/2003	42,0
1994/1995	30,9	2003/2004	63,7
1995/1996	4,9	2004/2005	32,0
1996/1997	42,0	2005/2006	12,3
1997/1998	67,3	2006/2007	12,1
1998/1999	39,0	2007/2008	15,8
1999/2000	36,7	2008/2009	11,5

Tabla 2. Coeficientes de correlación (r) de Kendall de variables meteorológicas (simples e interacciones) en relación a los niveles epidémicos binarios (severo y moderado a nulo) y ordinales (severo, moderado y ligero-nulo).

Coeficiente de correlación (r) de Kendall de variables meteorológicas				
Binario	DPr = 0,70	DPrv = 0,67	DPTxn = 0,62	TxM = -0,58
	DTx = -0,57	DNTxn = -0,54	Prac = 0,47	It2 = 0,67
Ordinal	DPr = 0,71	DPrv = 0,69	DTx = -0,61	DNTxn = -0,59
	DPTxn = 0,58	TxM = -0,55	Prac = 0,41	It2 = 0,69

DPrV: días totales con ocurrencia simultánea de precipitación >12 mm y velocidad del viento (2 m) > 2,6 km·h⁻¹; DPr y Prac: días totales con precipitación >12 mm y total acumulado en mm respectivamente; DNTxn: días totales con temperatura máxima >31,5 °C (DTx) son sumados al total de días con temperatura mínima <12 °C (DTn). TxM: Tx media. DPTxn: total de días con Tx ≤ a 28 °C y Tn ≥ a 14 °C. It2 = DPr*DPTxn. La variables hídricas son calculadas después de acumular 372 grados día (Tm base = 12,5 °C) hasta 960 grados día, desde el 10 de julio. Las térmicas son calculadas desde 930 a 1175 grados día, acumulados desde el 10 de julio.

todas las observaciones de intensidad de canchrosis en fruto disponibles en el lapso 27 de diciembre - 1 de febrero. El conjunto de valores máximos de IO% (media de las tres repeticiones), que define el nivel de enfermedad en fruto en media estación, constituyó la variable dependiente en los análisis de regresión logística (Tabla 1). Para el ciclo 2000/01, solo se dispuso de la observación de intensidad de canchrosis realizada el 19 de febrero. Las observaciones de intensidad de canchrosis (IO%) en pomelo (Tabla 1) de los ciclos de crecimiento 1991/92 a 2008/09 (N = 18) fueron usadas para desarrollar modelos logísticos predictivos.

Categorización de la variable respuesta: los valores de intensidad de la canchrosis en media estación en pomelo (IO%, Tabla 1) fueron binariamente codificados como 0 (epidemia moderada a nula: IO < 42 %) o 1 (epidemia severa: IO ≥ 42 %) y ordinalmente codificados como 0 (epidemia ligera a nula: IO ≤ 15,8 %), 1 (epidemia moderada: IO > 15,8 % y < 42 %) o 2 (epidemia severa: IO ≥ 42 %). Dichos umbrales correspondieron a los percentiles 60 % (IO = 42 %) y 30 % (IO = 15,8 %) respecto a los 18 valores observados (Tabla 1).

2.1 Variables meteorológicas predictoras

En la estación meteorológica convencional de la EEA INTA Bella Vista se registró diariamente la temperatura máxima (Tx: °C) y mínima (Tn: °C), precipitación (Pr: mm) y velocidad del viento a 2 m (V: km·h⁻¹). La temperatura media diaria (Tm) fue calculada como la semisuma de las temperaturas máxima y mínima. Basados en estos elementos se construyeron las siguientes variables meteorológicas simples e interacciones (producto de dos variables simples).

Simples: DPr: total de días con precipitación ma-

yor a 12 mm. **DPrV:** total días con ocurrencia simultánea de precipitación mayor a 12 mm y velocidad del viento >2,6 km·h⁻¹. **Prac:** total acumulado en mm de precipitaciones diarias mayores a 12 mm. **TxM:** Tx media. **TnM:** Tn media. **DTx:** total de días con Tx > 31,5 °C. **DTn:** total de días con Tn < 12 °C). **DNTxn:** suma de DTx y DTn. **DPTxn:** total de días con Tx ≤ 28 °C y Tn ≥ 14 °C.

Interacciones: It1 = DPr * DNTxn; It2 = DPr * DPTxn.

Lapso de cálculo: variables hídricas: desde que se acu-

mulan 372 grados día (GD, se acumulan las diferencias diarias positivas entre Tm y la temperatura base (Tb = 12,5 °C)) hasta 960 GD, desde el 10 de julio. Variables térmicas: desde 930 a 1175 GD (la acumulación de GD se inicia el 10 de julio). El valor de Tb fue apropiado para simular el desarrollo de las especies cítricas de acuerdo a Davies & Albrigo (1994).

2.2 Análisis estadístico

- Cálculo de coeficientes de correlación (rk) de Kendall (procedimiento freq. del SAS, 1989) entre los niveles epidémicos y las variables meteorológicas descriptas (simples e interacciones).

- Se utilizaron técnicas de regresión logística (SAS,

Tabla 3. Modelos logísticos para estimar la probabilidad de ocurrencia de cada categoría epidémica: Binaria: severa (S) y moderada a nula; Ordinal: severa (S), moderada (M) o ligera a nula (L), en base a variables meteorológicas simples e interacciones.

Modelo	Ecuaciones del Modelo	Precisión (%)
Binario		
I	Ec1 = -6,1095 + 0,1265 * It2	94,4
Ordinal		
II	Ec1 = -6,1193 + 0,1258 * It2 Ec2 = -3,1286 + 0,1258 * It2	83,3

Ec1 = ln(ProbS/1-ProbS); Ec2 = ln(ProbMac/1-ProbMac). Resolviendo la expresión $\frac{\text{Exp}(\ln(\text{ProbS}/1-\text{ProbS}))}{1+\text{Exp}(\ln(\text{ProbS}/1-\text{ProbS}))}$ se obtiene el valor de ProbS (probabilidad de observar una tasa epidémica severa (S)). Ln es el logaritmo natural. Resolviendo $\frac{\text{Exp}(\ln(\text{ProbMac}/1-\text{ProbMac}))}{1+\text{Exp}(\ln(\text{ProbMac}/1-\text{ProbMac}))}$ se obtiene ProbMac (probabilidad acumulada de ocurrencia de un nivel epidémico igual o mayor al moderado (M)). ProbM = ProbMac-ProbS. ProbL = 1-(ProbS+ProbM) siendo ProbL la probabilidad de observar una epidemia ligera a nula (L). It2 = DPr*DPTxn, siendo DPr: días totales con precipitación >12 mm y DPTxn: total de días con Tx ≤ 28 °C y Tn ≥ 14 °C.

1989) para desarrollar modelos basados en variables meteorológicas para estimar las probabilidades de ocurrencia de niveles binarios y ordinales de cancrrosis. La regresión logística de respuesta binaria y ordinal se ha utilizado ampliamente en la investigación epidemiológica (Turechek & Stevenson, 1998; De Wolf *et al.*, 2003; Mila *et al.*, 2004; Paul & Munkvold, 2004; Moschini *et al.*, 2006; Henderson *et al.*, 2007; Harikrishnan & Del Río, 2008; Martínez *et al.*, 2010; Carmona *et al.*, 2010; Bombelli *et al.*, 2013). Los modelos de regresión logística permiten estimar la probabilidad de ocurrencia de cada categoría epidémica en base a una o varias de las variables regresoras analizadas (simples o como componente interactivo). Regla de decisión: se pronostica la categoría epidémica con una probabilidad asociada $\geq 0,5$ (binaria) o con la máxima probabilidad de ocurrencia (categorización ordinal). El procedimiento *logistic* del SAS fija modelos de regresión paralelos para datos de respuesta ordinal por medio del método de máxima verosimilitud, basado en la distribución de probabilidad acumulada de los niveles de respuesta. Una función *logit* (logaritmo natural de (Prob / 1- Prob), siendo Prob la probabilidad acumulada de las categorías epidémicas) establece la unión entre el componente estocástico y las variables regresoras meteorológicas analizadas. Los supuestos requeridos por el análisis de regresión

lineal paramétrico no se exigen en la regresión logística. El método de selección de variables *stepwise* del procedimiento *logistic* del SAS (1989) fue usado para obtener el modelo más apropiado, haciendo jugar todas las variables regresoras (simples e interactivas) descriptas y fijando distintos niveles de significancia para entrar y permanecer en el modelo (NSE y NSP respectivamente).

- Precisión de predicción: porcentaje de casos correctamente clasificados. Si en cada uno de los casos analizados se compara la categoría epidémica observada vs. la predicha con máxima probabilidad de ocurrencia por la ecuaciones logísticas desarrolladas, se puede calcular el porcentaje de casos correctamente clasificados.

2.3 Análisis del efecto de las condiciones meteorológicas sobre la cancrrosis en el área citrícola de España (Cataluña, comunidad Valenciana y Andalucía)

Para analizar los valores de las variables meteorológicas predictoras relevantes y los niveles de cancrrosis predichos por los modelos logísticos seleccionados se utilizaron los datos diarios de temperatura máxima y mínima y precipitación de 14 estaciones meteorológicas españolas (Serie:1980-2008) (www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/climatedata).

Tabla 4. Valor de la mediana de variables meteorológicas hídricas-térmicas que participan en modelos predictivos de la intensidad de la cancrrosis seleccionados y fechas iniciales-finales (mediana) de los lapsos en los cuales son procesadas. Serie analizada: 1980-2008.

Sitio	Variable hídrica				Variable térmica		It2
	Latitud	Longitud	DPr	Lapso proceso	DPTxn	Lapso proceso	
Gibraltar	36,15° N	5,35° O	0	14/5-15/7	12	13/7-2/8	0
Rota NAS	36,65° N	6,35° O	0	28/5-24/7	10	22/7-11/8	0
Málaga	36,66° N	4,48° O	0	26/5-17/7	4	16/7-2/8	0
Almería	36,85° N	2,83° O	0	17/5-9/7	3	8/7-25/7	0
Morón Fronteras	37,15° N	5,61° O	0	30/5-17/7	0	16/7-31/7	0
Granada	37,18° N	3,78° O	0	18/6-4/8	0	3/8-22/8	0
Sevilla	37,41° N	5,90° O	0	13/5-4/7	0	2/7-17/7	0
Murcia	37,78° N	0,80° O	0	3/6-26/7	3	25/7-12/8	0
Córdoba	37,85° N	4,85° O	0	29/5-12/7	0	11/7-26/7	0
Alicante	38,28° N	0,55° O	0	28/5-19/7	0	17/7-4/8	0
Valencia	39,50° N	0,46° O	0	1/6-23/7	1	22/7-8/8	0
Albacete	38,95° N	1,85° O	0	26/6-12/8	1	11/8-31/8	0
Reus	41,15° N	1,16° O	1	18/6-6/8	3	5/8-26/8	0
Barcelona	41,28° N	2,06° O	1	26/6-14/8	10	13/8-2/9	8
Bella Vista	28,43° S	58,92° O	7	27/9-24/11	5	23/11-12/12	28

It2 = DPr*DPTxn, siendo DPr: días totales con precipitación >12 mm y DPTxn: total de días con Tx ≤ 28 °C y Tn ≥ 14 °C.

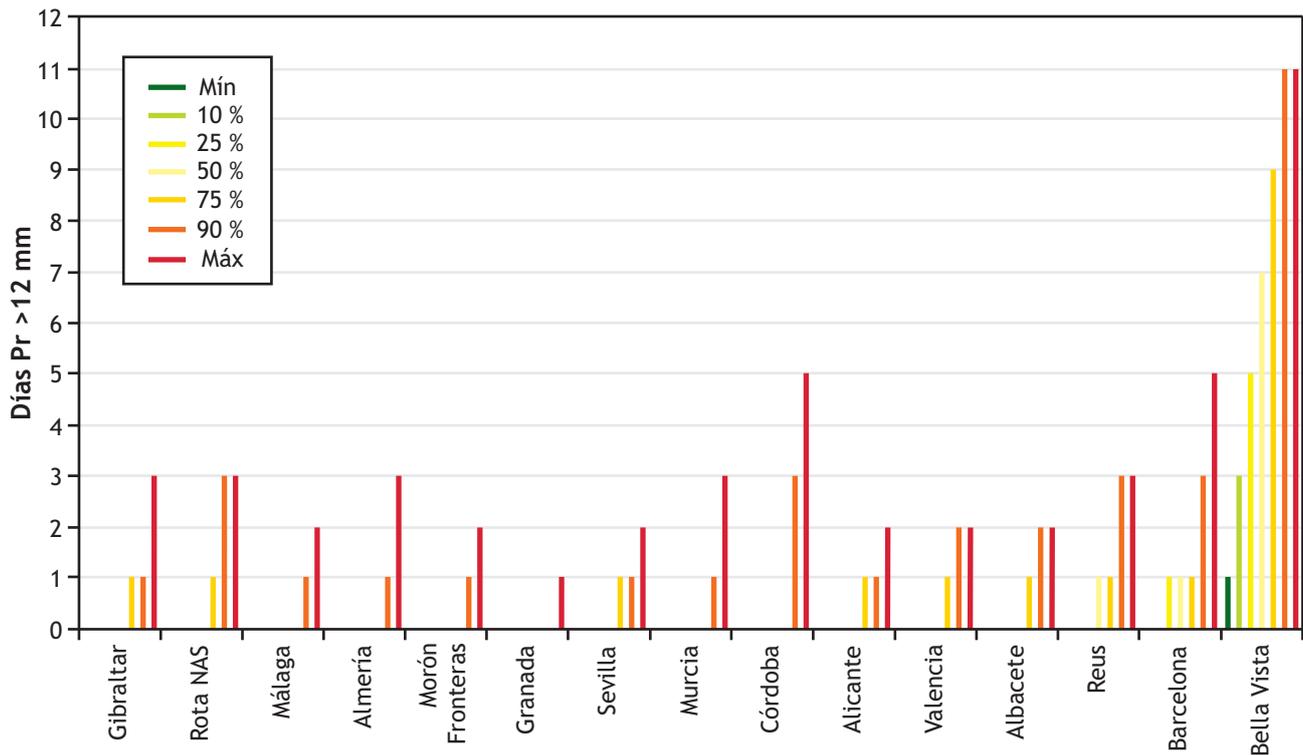


Figura 1. Valores que alcanza DPr (días con precipitación mayor a 12 mm) para los siguientes percentiles: 0 (Mín), 10, 25, 50, 75, 90 y 100 % (Máx).

Lapso de cálculo de las variables meteorológicas: hídricas: el lapso del cálculo de las variables meteorológicas hídricas se calculó desde que se acumulan 372 grados día ($T_b = 12,5\text{ }^\circ\text{C}$) hasta 960 grados día, a partir del 10 de enero. Térmicas: desde 930 a 1175 grados día (inicio de acumulación térmica: 10 de enero).

El mismo análisis se realizó con la serie meteorológica 1980-2008 de Bella Vista (provincia de Corrientes), como contraste de un sitio argentino donde la enfermedad es endémica.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes más altos de correlación (r_k) de Kendall obtenidos entre las variables meteorológicas simples e interactivas analizadas y los niveles epidémicos de la canchrosis. El valor máximo de r_k para la categorización binaria y ordinal correspondió a la variable DPr, con valores de 0,70 y 0,71 respectivamente. En segundo lugar sobresalieron la variable simple DPrV y la componente interactiva It2 (producto de $DPr \cdot DPT_{xn}$).

El método de selección de variables *stepwise* del procedimiento *logistic* (NSE y NSP: 0,05) para ambas categorizaciones de los niveles epidémicos, definió sendos modelos que solo incluyeron a la componente interactiva It2, producto de la variable hídrica DPr y

la térmica DPT_{xn} (Tabla 3). El modelo I clasificó correctamente 17 de las 18 observaciones de intensidad de canchrosis en media estación, categorizadas binariamente. Solo la observación de la campaña 1994/95 definida como moderada a nula (<42 %) fue erróneamente predicha como severa. El modelo II permitió clasificar correctamente 15 casos de los 18 observados (83,3 % de precisión de predicción). Dos observaciones de los ciclos 1998/99 y 1999/00 con nivel epidémico moderado fueron erróneamente predichos como ligeros a nulos, mientras que el nivel epidémico moderado observado en el ciclo 1994/95 fue clasificado por el modelo como severo.

3.1 Análisis del efecto de las condiciones meteorológicas del área citrícola de España (Cataluña, comunidad Valenciana, Murcia y Andalucía) sobre la canchrosis

Los modelos logísticos seleccionados I y II que incluyen como variable predictora al componente interactivo definido como el producto entre las variables DPr y DPT_{xn} fueron corridos en 14 sitios de España (Serie: 1980-2008) y en Bella Vista (Corrientes, Argentina). En la Tabla 4 se presentan los valores mediana de ambas variables y de la interacción entre ambas (It2), con sus lapsos (mediana) de cálculo. Seguidamente se presentan las Figuras 1, 2 y 3 donde se visualizan los valores que alcanzan DPr, DPT_{xn} e It2 respectivamente, para distintos percentiles.

Este trabajo se ha concentrado en la identificación de variables meteorológicas procesadas durante la primavera (Bella Vista), las que tratan de explicar la variabilidad observada en la intensidad de cancrrosis en fruto en media estación (valor máximo de intensidad observado entre el 27/12 y 1/2). En estudios previos, Canteros (1999) encontró una relación directa entre la intensidad de enfermedad en mitad de la temporada con el porcentaje de frutos sanos a la cosecha y también con la intensidad de cancrrosis a cosecha (IOc%, fórmula de 3 grados). En este último caso, la ecuación de regresión ajustada fue la siguiente: $IOc\% = 7,915 + 0,98 IO\%$, donde IO% es la intensidad de cancrrosis en media estación (fórmula de 3 grados). El coeficiente de correlación fue de 0,88. De esta forma, procesando las variables meteorológicas (hídrica y térmica) identificadas en la primavera, se podrá estimar el nivel de enfermedad en media estación y predecir su intensidad a cosecha. En España, la acumulación de grados día a partir del 10 de enero (pleno invierno del hemisferio norte), desplazó el procesamiento de las variables hídrica-térmicas al fin de primavera-verano. En Valencia la variable hídrica se procesa desde el 1/6 al 23/7 y la térmica desde 22/7 al 8/8. Para con-

trastar fenológicamente los fenómenos entre los dos sitios bajo estudio, es preciso mencionar que de acuerdo a trabajos realizados por Laskowski Ochoa (2006) en naranjo dulce cv. Salustiana (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en Valencia, en julio (a 104 días de antes) los frutos tenían un diámetro de 4,45 cm.

Debe remarcar que la variable dependiente utilizada en los análisis de regresión logística se derivó del análisis 18 observaciones de intensidad de cancrrosis en frutos de pomelo en media estación. Estos valores de intensidad surgen de promediar las observaciones de las tres repeticiones posicionadas en bloques establecidos a distancias crecientes de la cortina rompeviento (lado sur del lote) que protege la plantación. Por esta razón, para explicar la variabilidad de la enfermedad en media estación, el aporte de la variable DPrV, que incluye el efecto simultáneo de la precipitación y la velocidad del viento, no difiere significativamente con el que realiza la variable DPr, que solo analiza el factor precipitación. Canteros (1998) demostró el rol de las cortinas rompeviento respecto a la enfermedad, al verificar la muy alta correlación entre la distancia a una cortina natural y la intensidad de cancrrosis en cítricos. De este trabajo surge que para la

infección y diseminación de la bacteria *Xanthomonas citri* pv. *citri* (Xcc) es necesario lluvias intensas mayores a 12 mm (variable DPr), siendo irrelevantes las precipitaciones ligeras que pueden tener insuficiente energía para la dispersión bacteriana de los cancrros. Gottwarld & Irej (2007) señalaron que lluvias poco intensas, lluvias con viento, tormentas, tormentas tropicales y huracanes pueden dispersar, con progresiva efectividad, a Xcc. En la latitud de Bella Vista solo se registran los tres primeros casos ligados a la precipitación.

La variable hídrica representada por DPr resultó ser el factor ambiental más limitante para la expresión de la bacteriosis en el sector citrícola español. En las zonas de alta producción cítrica (Comunidad Valenciana, Murcia y Andalucía) el valor mediana de la variable DPr fue ce-

Tabla 5. Porcentaje estimados de años con ocurrencia de los niveles de cancrrosis analizados (categorización binaria y ordinal), utilizando los modelos logísticos I y II (Tabla 3), para la serie 1980-2008, en 14 sitios de España y Bella Vista (Argentina).

Sitio	Modelo I		Modelo II		
	Severo	Moderado a nulo	Severo	Moderado	Ligero a nulo
Gibraltar	0	100	0	3,4	96,6
Rota NAS	0	100	0	6,9	93,1
Málaga	0	100	0	0	100
Almería	0	100	0	0	100
Morón Fronteras	0	100	0	0	100
Granada	0	100	0	0	100
Sevilla	0	100	0	0	100
Murcia	0	100	0	0	100
Córdoba	0	100	0	0	100
Alicante	0	100	0	0	100
Valencia	0	100	0	0	100
Albacete	0	100	0	0	100
Reus	0	100	0	10,3	89,7
Barcelona	13,8	86,2	13,8	3,4	82,8
Bella Vista	44,8	55,2	44,8	6,9	48,3

Modelo I: $Ec1 = -6,1095 + 0,1265 * It2$. Modelo II: $Ec1 = -6,1193 + 0,1258 * It2$; $Ec2 = -3,1286 + 0,1258 * It2$. $It2 = DPr * DPTxn$, siendo DPr: días totales con precipitación >12 mm y DPTxn: total de días con $Tx \leq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ y $Tn \geq 14 \text{ }^\circ\text{C}$.

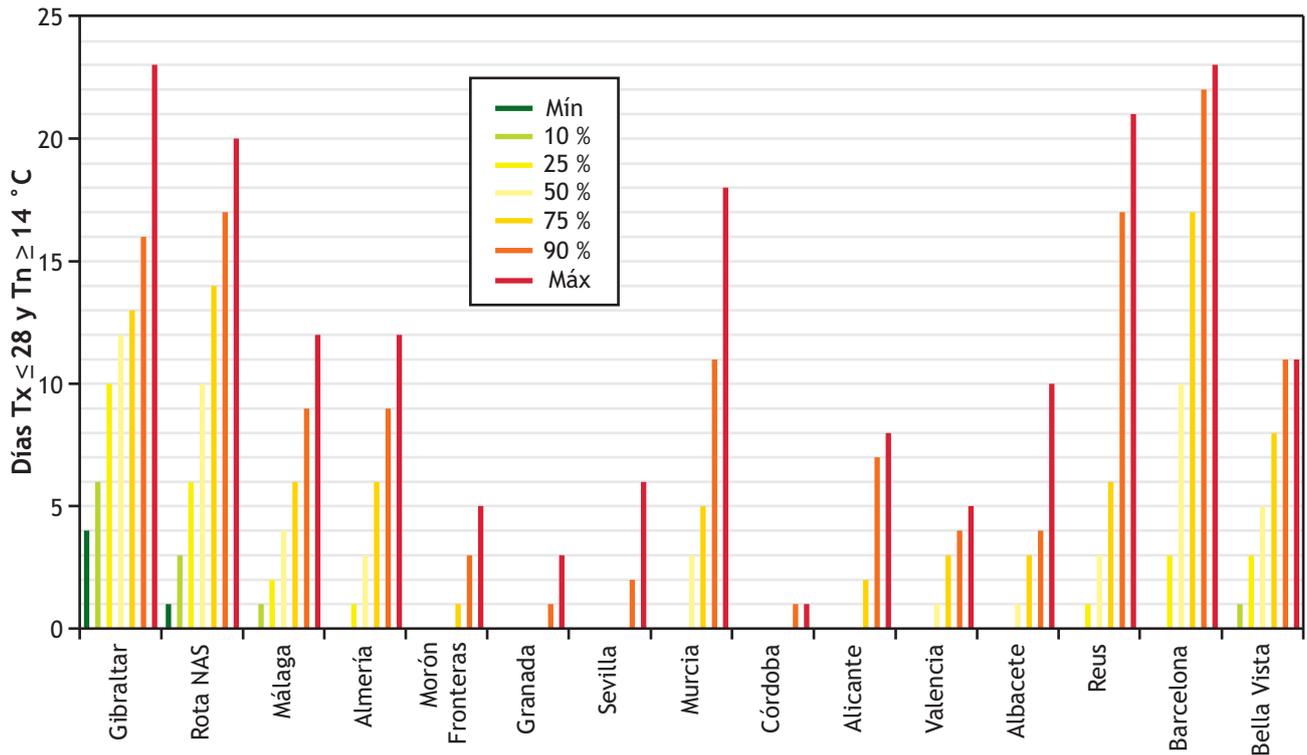


Figura 2. Valores que alcanza DPTxn (total de días con $T_x \leq 28$ °C y $T_n \geq 14$ °C) para los siguientes percentiles: 0 (Mín), 10, 25, 50, 75, 90 y 100 % (Máx).

ro, cuando se analizaron 29 años de datos meteorológicos. Este resultado está en concordancia con el régimen mediterráneo de lluvias (concentración invernal de las precipitaciones), dominante en el área citrícola española. Respecto al factor térmico, la ventana defi-

nida por temperaturas mínimas diarias mayores o iguales a 14 °C y máximas menores o iguales a 28 °C (post-inoculación o después del período con lluvias), como fuera establecida en la Isla de Reunión por Vernière *et al.* (2003), fue claramente favorable para la

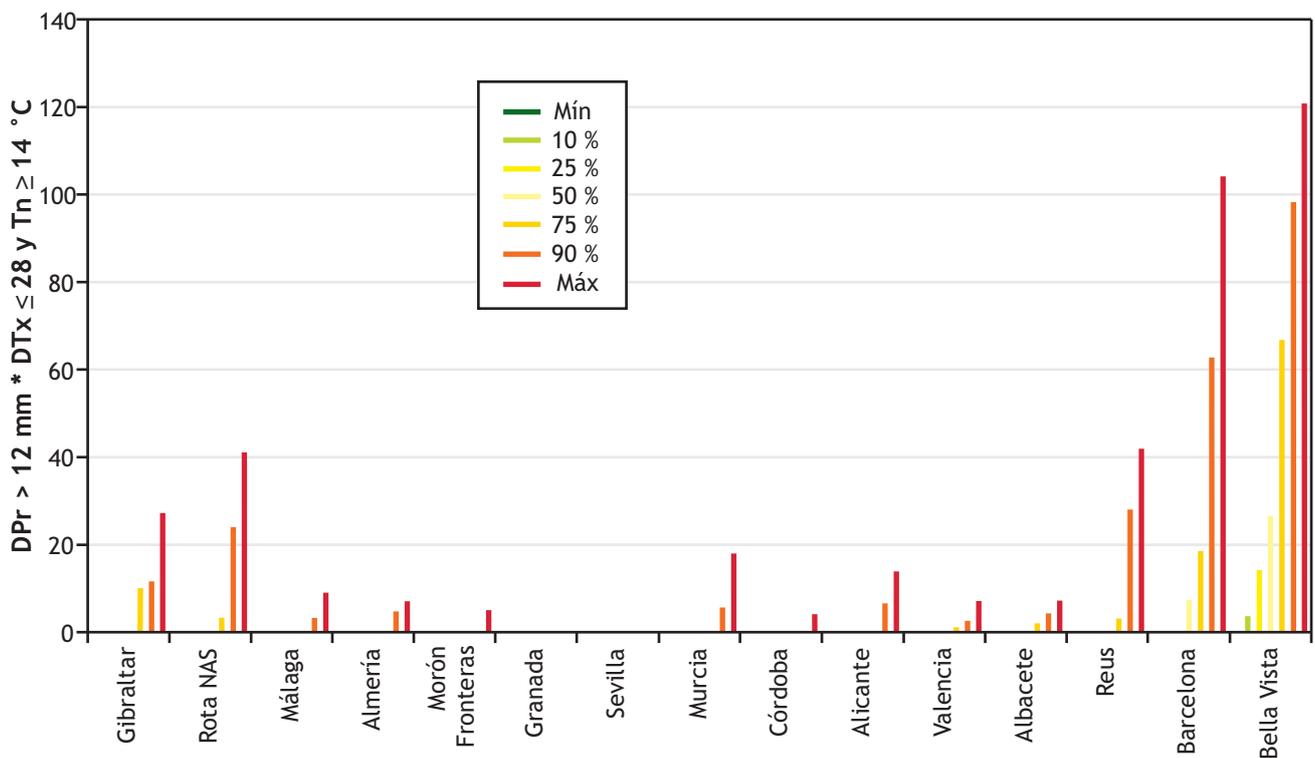


Figura 3. Valores que alcanza la componente interactiva It2 (producto de DPr por DPTxn) para los siguientes percentiles: 0 (Mín), 10, 25, 50, 75, 90 y 100 % (Máx).

evolución de la enfermedad. En los sitios españoles analizados, esta variable térmica alcanzó valores apropiados, con excepción de varias localidades de Andalucía, como Sevilla y Córdoba.

4. Conclusiones

- Los mejores modelos de regresión logística de respuesta binaria y ordinal ajustados en Bella Vista incluyeron a la interacción (producto) entre DPr (días totales con precipitación >12 mm) y DPTxn (días con temperatura máxima ≤ 28 °C y temperatura mínima ≥ 14 °C) (precisiones de predicción: 94,4 % y 83,3 %).

- Ambos modelos corridos en 14 sitios de España (29 años) hicieron decrecer predominantemente a cero la probabilidad de que la enfermedad se exprese en niveles moderados a severos, marcando claras diferencias con el 51,7 % de los años en Bella Vista. Solo en Cataluña, donde se concentra el 3 % de la producción cítrica española, existe una pequeña probabilidad de observar un nivel epidémico moderado a severo, si se focaliza en una especie susceptible como el pomelo.

- La variable hídrica DPr fue el factor más limitante para la expresión de la bacteriosis en el sector cítrico español, no así el factor térmico.

5. Bibliografía

- Bock, C.H.; Parker, P.E. & Gottwald, T.R. 2005. The effect of simulated wind-driven rain on duration and distance of dispersal of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* from canker infected citrus trees. *Plant Disease*. 89: 71-80.
- Bombelli, E.; Moschini, R.; Wright, E.R.; López, M.V. & Fabrizio, M.C. 2013. Modelado para la predicción de enfermedades en cultivos de alto valor comercial. *Proyecciones* 11(1): 47-59. Publicación de Investigación y Posgrado de la Facultad Regional.
- Canteros de Echenique, B.I.; Zagory, D. & Stall, R.E. 1985. A medium for cultivation of the B-strain of *Xanthomonas campestris* pv. *citri*, cause of cancrrosis B in Argentina and Uruguay. *Plant Disease*. 69:122-123.
- Canteros, B.I. 1998. Ecology of endemic citrus canker: seasonal fluctuations of disease intensity. Abstract 3.7.41. 7th Int. Congress Plant Pathol. Edinburgh. Scotland Vol 3 ISPP.
- Canteros, B.I. 1999. Enfermedades: Cancrosis, Black Spot y Sarna. Curso de Actualización en Sanidad Cítrica, EEA INTA Bella Vista, 1999, pp. 150.
- Canteros, B.I. 2006. Management of citrus Canker in Argentina: a review. *Proc. Int. Soc. of Citricultura*, pp 515-523.
- Canteros, B.I. 2009. Guía para la Identificación y el Manejo de las Enfermedades Fúngicas y Bacterianas en Citrus 2009-2010. Programa de Fortalecimiento de la Citricultura Correntina (INTA. CFI. Pcia Corrientes. SENASA. Corp. Mercado Central Bs. As.). 1° edición. 94 pp.
- Carmona, M.; Moschini, R.; Cazenave, G. & Sautua, F. 2010. Relación entre la precipitación registrada en estados reproductivos de la soja y la severidad de *Septoria glycines* y *Cercospora kikuchii*. *Tropical Plant Pathology* 35(2): 71-78.
- Davies, F.S. & Albrigo, L.G. 1994. Citrus. Crop production science in horticulture. Vol. 2 CAB Intl., Wallingford, UK.
- De Wolf, E.D.; Madden, L.V. & Lipps, P.E. 2003. Risk assessment models for wheat fusarium head blight epidemics based in within-season weather data. *Phytopathology* 93:428-435.
- Gottwald, T.R. & Irey, M. 2007. Post-hurricane analysis of citrus canker II: predictive model estimation of disease spread and area potentially impacted by various eradication protocols following catastrophic weather events. *Plant Health Progress* 1-15, doi: 10.1094/PHP-2007-0405-01-RS.
- Gottwald, T.R.; Graham, J.; Bock, C.; Bonn, G.; Cive-rollo, E.; Irey, M.; Leite, R.; McCollum, G.; Parker, P.; Ramallo, J.; Rille, T.; Schubert, T.; Stein, B. & Taylor, E. 2009. The epidemiological significance of post-packinghouse survival of *Xanthomonas citri* subsp. *citri* for dissemination of Asiatic citrus canker via infected fruit. *Crop protection* 28: 508-524.
- Harikrishnan, R. & Del Río, L.E. 2008. A logistic regression model for predicting risk of White mold incidence on dry bean in North Dakota. *Plant Dis.* 92: 42-46.
- Henderson, D.; Williams, C.J. & Miller, J.S. 2007. Forecasting late blight in potato crops of southern Idaho using logistic regression analysis. *Plant Dis.* 91: 951-956.
- Laskowski Ochoa, L.E. 2006. Características de la abscisión del fruto de naranja *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. Salustina. *Bioagro* 18 (1): 25-30.
- Martínez, M.I.; Moschini, R.C.; Barreto, D.; Bodega, J.L.; Comerio, R.; Forjan, H.; Piatti, F.; Presello, D.A. & Valentinuz, O.R. 2010. Factores ambientales que afectan el contenido de fumonisinas en granos de maíz. *Tropical Plant Pathology* Vol. 35, 5, 277-284.
- Mila, A.L.; Carriquiry, A.L. & Yang, X.B. 2004. Logis-

- tic regresión modeling of prevalence of soybean Sclerotinia ítem rot in the north-central region fo the United Status. *Phytopathology* 94: 102-110.
- Moschini, R.C.; Canteros, B.I. & Martínez, M.I. 2005. Ecuaciones Predictivas de la Intensidad de la Cancrosis de los Citrus en base a Variables Meteorológicas. En: Actas Congreso Argentino de Citricultura, V, Concordia, 2005, pp. 24.
- Moschini, R.C.; Sisterna, M.N. & Carmona, M. 2006. Modelling of wheat black point incidence based on meteorological variables in the southern Argentinean Pampas Region. *Australian Journal of Agricultural Research* 57 (11): 1151-1156.
- Moschini, R.C. 2007. Clima y Enfermedades de cultivos relevantes en Argentina. En: simposio "El cambio climático y su impacto en las plagas de los vegetales", I, Buenos Aires, 2007, CD ROM.
- Paul, P.A. & Munkvold, G.P. 2004 A model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. *Phytopathology* 94:1350-1357.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2, Cary, NC: SAS Institute INC. 846 pp.
- Stall, R.E.; Gottwald, T.R.; Koizumi, M. & Schaad, N.C. 1993. Ecology of plant pathogenic Xanthomonads. En: Swing J.G. and E.L. Civerolo (eds.), *Xanthomonas*, Chapman and Hall, London, UK.
- Turechek, W.W. & Stevenson, K.L. 1998. Effects of host resistance, temperature, leaf wetness duration and leaf age on infection and lesion development of pecan scab. *Phytopathology* 88: 1294-1301.
- Vernière, J.; Gottwald, T.R. & Pruvost, O. 2003. Disease development and symptom expression of *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* in various citrus plant tissues. *Phytopathology* 93:832-843.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transaction Am. Geophys. Union* 39, 285-291.