
ALGUNOS ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA EL MUESTREO DE ÁRBOLES Y FRUTAS CON SÍNTOMAS DE *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* EN MONTES CÍTRICOS

Autores: Alvaro Otero¹
Elina Zefferino²

¹ Ing. Agr. (MSc). Programa Nacional de Producción Citrícola, INIA Salto Grande.

² Ing. Agr. Dirección General de Servicios Agrícolas. MGAP

Título: ALGUNOS ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA EL MUESTREO DE
ÁRBOLES Y FRUTAS CON SÍNTOMAS DE *Xanthomonas axonopodis* pv.
citri EN MONTES CÍTRICOS

Autores: Alvaro Otero
Elina Zefferino

Serie Técnica N° 171

© 2007, INIA

ISBN: 978-9974-38-245-9

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA
Andes 1365, Piso 12. Montevideo - Uruguay
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., Ph. D. Pablo Chilibroste - Presidente

Ing. Agr., Dr. Mario García - Vicepresidente



Ing. Agr. Eduardo Urioste

Ing. Aparicio Hirschy



Ing. Agr. Juan Daniel Vago

Ing. Agr. Mario Costa





CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	2
Análisis de la incidencia de árboles (I_p %) en los cuadros de producción	3
Selección de plantas para la estimación de I_f % en el cuadro de producción	4
Estimación de la incidencia de frutos afectados (I_f %) en un cuadro de producción comercial	4
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	5
Dispersión de los árboles afectados en el terreno	5
Número de plantas a muestrear en el terreno para estimar I_p %	14
Dispersión de los frutos afectados (I_f %) entre plantas y dentro de la planta	16
Número de plantas y de frutos a muestrear en el terreno para estimar el porcentaje de frutos afectados (I_f %)	21
CONCLUSIONES	21
AGRADECIMIENTOS	25
BIBLIOGRAFÍA	26



PRÓLOGO

Uruguay exporta fruta fresca de cítricos desde hace más de 35 años, con productos de calidad de reconocida aceptación en los mercados importadores. Por sus características agroecológicas la producción citrícola de Uruguay, presenta plagas y enfermedades que pueden ser -y de hecho lo son- consideradas plagas cuarentenarias por muchos de los países importadores de nuestra fruta cítrica.

En base al Análisis de Riesgo de Plaga (ARP), mediante el cual se evalúa la probabilidad de introducción y dispersión de una plaga y de las posibles consecuencias económicas relacionadas, los países importadores determinan las medidas fitosanitarias (requisitos) que minimicen los riesgos identificados (FAO 2007 a, b).

En el año 1997 y debido al cambio de requisitos fitosanitarios de la Unión Europea, principal mercado de la fruta cítrica de nuestro país, la Dirección General de Servicios Agrícolas (DGSA) diseña el Sistema de Certificación Fitosanitaria para Fruta Cítrica (SCFFC), a los efectos de implementar el cumplimiento de los requisitos de éste y otros mercados.

Con este marco de referencia, y con el objetivo de maximizar la generación de conocimientos técnico-científicos a través del trabajo conjunto interinstitucional, la DGSA (MGAP) e INIA suscribieron en el año 2000, un Convenio de Cooperación Técnica en Sanidad Citrícola, el cual fue ampliado en el año 2003, con la integración de la Facultad de Agronomía (Universidad de la República). Desde entonces se vienen ejecutando proyectos que generen evidencias científicas sobre las plagas de preocupación cuarentenarias para los países importadores y el manejo de su riesgo, a los efectos de contar con conocimientos que son utilizados directamente por los productores, profesionales, exportadores y fundamentalmente por la Organización Nacional de Protección Fitosanitaria (DGSA), a los efectos de evaluar medidas fitosanitarias alternativas a proponer en las negociaciones fitosanitarias bilaterales y sostener políticas fitosanitarias para el sector citrícola.

El presente trabajo, se diseñó a los efectos de proporcionar evidencias estadísticas sobre el número de frutos y plantas cítricas a observar en el campo que permita estimar la real incidencia de árboles y frutos afectados con síntomas visibles de *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*. La información generada a través de la estimación de la incidencia de árboles y frutos afectados puede ser utilizada en el diseño de medidas alternativas del manejo del riesgo, por parte de la DGSA, para el monitoreo de la enfermedad en el SCFFC (DGSA/MGAP) o para evaluación de los propios productores citrícolas.

ALGUNOS ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA EL MUESTREO DE ÁRBOLES Y FRUTAS CON SÍNTOMAS DE *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* EN MONTES CÍTRICOS

INTRODUCCIÓN

Todo proceso de toma de decisiones sobre el manejo de plagas y la pérdida de los cultivos es complejo, ya sea por el necesario conocimiento básico de la biología de una plaga o enfermedad, por el conocimiento del estado real de la misma en un cultivo en un momento dado, así como por el pronóstico de la evolución de esa enfermedad o plaga en el tiempo. En estos componentes del proceso de la toma de decisión es necesario manejar conceptos y herramientas de muestreo ya que muy difícilmente se conozca la situación de todo el escenario. Habitualmente todo muestreo lleva tiempo, dinero y la información que provee va a depender principalmente del objetivo que se busque (Hughes, 1999). El grado de precisión y la repetibilidad seleccionada va a estar determinado fundamentalmente por el objetivo del muestreo. Así, por ejemplo, podría ser propuesto el muestreo orientado al monitoreo de una enfermedad hasta llegar a un umbral crítico que induce la toma de una decisión o por el contrario, diseñar el muestreo a fin de detectar el mínimo de incidencia de una enfermedad a los efectos de tomar –por ejemplo- decisiones de erradicación de la enfermedad u otra medida de control. Si bien la biología de la enfermedad es la misma, la diferencia entre ambos objetivos hace que los dos muestreos sean muy diferentes, en su diseño y en su extensión.

El conocimiento de la dinámica de una enfermedad y la heterogeneidad de la mis-

ma en condiciones no controladas de campo son elementos usados en el diseño de un eficiente plan de muestreo. Varios métodos pueden ser usados para medir la heterogeneidad de una plaga o enfermedad en condiciones de campo (Madden *et al.*, 1995; van Maanen y Xu, 2003). La heterogeneidad o distribución espacial de una enfermedad es especialmente importante cuando nos proponemos conocer y en definitiva estimar el grado de incidencia de la enfermedad en un órgano vegetal en particular de una planta, o en la totalidad de las plantas en la superficie donde crece el cultivo. La incidencia de plantas afectadas puede ser definida como el número de unidades de plantas que están afectadas por una enfermedad, usualmente relacionada al total de plantas observadas (Campbell y Madden, 1990; Madden *et al.*, 1995). De esta forma, la determinación del número de individuos y órganos a observar va a estar relacionada directamente con la epidemiología del agente causal, con su distribución poblacional, con su heterogeneidad (padrón de distribución espacial-grado de agregación) y con la distribución espacial del huésped y sus órganos susceptibles a la enfermedad.

Tres tipos principales de distribución son usualmente considerados: a) distribución aleatoria, b) distribución uniforme y c) distribución agregada. En organismos vivos las distribuciones aleatorias y agregadas son las más frecuentes de encontrar, mientras que la distribución uniforme es más difícil de ser encontrada en la naturaleza (Figura 1).

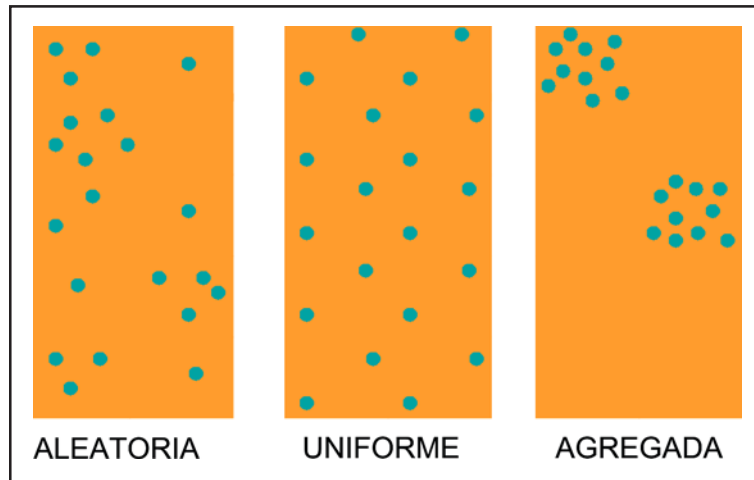


Figura 1. Padrones principales de distribución.

Clásicamente la relación media/varianza de una población se ha usado como medida del grado de agregación de una plaga (Taylor, 1961, 1984). Con el tiempo, otros dos amplios caminos se han propuesto para evaluar la agregación espacial de plagas y enfermedades; a) A través del ajuste de curvas empíricas de la distribución de frecuencias de pequeñas partes de la población original (muestréos), de las cuales se puede estimar el grado de agregación, por la asociación de ésta con alguno de los parámetros internos de la ecuación empírica empleada en el ajuste y estimando la varianza poblacional; b) A través de estudios directos de métodos de estadística espacial que toman en cuenta la posición y la distancia entre los individuos en el espacio, y por lo tanto su real distribución espacial.

Dentro del primer grupo de técnicas, diversos índices de agregación se han calculado y propuesto a efectos de cuantificar la heterogeneidad de una enfermedad, con especial énfasis en la incidencia de la misma (Madden y Hughes, 1995). La incidencia, como medida de la magnitud de una enfermedad, es una variable binaria (ausencia/presencia de la enfermedad en la planta o en un órgano de la misma), en donde el grado de agregación (distribución espacial de las plantas afectadas) de la misma juega un papel importante en el ajuste de la mejor distribución empírica con las frecuencias de distribución de la incidencia en el

campo; distribución empírica imprescindible a los efectos de poder estimar con precisión la varianza poblacional, cuando ésta no se conoce previamente, que suele ser la mayor parte de los casos.

Es el propósito principal de este trabajo determinar el número de árboles y frutos mínimos a relevar en un cuadro de producción citrícola comercial, a los efectos de determinar la incidencia de plantas ($I_p\%$) y de frutos afectados ($I_f\%$) con síntomas visibles de *Xanthomonas axonopodis* (*Xac*), dada una precisión y certeza previamente establecida, con fines de inspección fitosanitaria.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la zona de producción citrícola de Salto y norte de Paysandú, Uruguay, se seleccionaron entre cinco y seis cuadros de cítricos en producción de cada una de las siguientes variedades: Clementina de Nules (*Citrus clementina* Hort ex Tan), Washington Navel (*Citrus sinensis* (L.) Osb), Limón libón (*Citrus limon* (L.) Burm) y Valencia late (*Citrus sinensis* (L.) Osb). Los cuadros fueron seleccionados en función del porcentaje de árboles afectados con síntomas visibles en hoja de *Xac*, previa inspección visual de todos los árboles del cuadro o bloque de producción. Cada árbol fue inspeccionado minuciosa e individualmente, y se

contabilizó como árbol afectado cuando presentaba una o más hojas con síntomas de *Xac*. Se realizó un croquis a escala del posicionamiento de cada planta y del estado sanitario de las mismas durante los meses de diciembre de 2004 y febrero de 2005. Se eligieron los cuadros a los efectos de tener escenarios de evaluación en la mayor parte de la escala de incidencia de *Xac* en los árboles: menos del 15% de árboles afectados en el cuadro, de 15 a 50%, de 50 a 75% y más del 75% de árboles afectados. Todos los cuadros de producción estaban compuestos por plantas cítricas de 10 a 15 años de plantación, con 500-600 plantas por hectárea. Los cuadros de producción seleccionados tenían de 3 a 5 aplicaciones foliares de oxiclورو de cobre (85%) durante la primavera y comienzos de diciembre. No se realizaron aplicaciones posteriores de cúpricos ni para control del minador de los cítricos.

Análisis de la Incidencia de árboles (Ip %) en los cuadros de producción

La incidencia de plantas afectadas (Ip %), en su dimensión presencia/ausencia de la

enfermedad, es una variable binaria y presenta al menos, dos posibles distribuciones de acuerdo a su relación media/varianza (Hughes y Madden 1993). Estas distribuciones van a estar altamente afectadas de acuerdo al padrón de distribución que tenga esta: regular, aleatoria o agregada. Si la enfermedad presenta un padrón aleatorio podríamos asemejar e intentar ajustar la frecuencia de distribución poblacional a la distribución Binomial, mientras que si presenta un padrón de distribución agregado se representará mejor con la distribución Beta Binomial (Madden *et al.*, 1994, 1995) (Figura 2) a los efectos de estimar la varianza poblacional, y por ende poder determinar el número de plantas u órganos a muestrear y diseñar el muestreo. Por otro lado, un padrón regular es muy poco probable que se de en la naturaleza (Taylor 1961, 1984) (Figura 1).

La agregación de plantas en los cuadros de producción para las cuatro variedades de estudio se evaluó a través del análisis de su índice de dispersión ($I\beta$) (Gottwald *et al.*, 1993), el cual fue calculado dividiendo el área de cultivo en cuadrantes de 2x2 y 3x3 plantas cada uno (Gottwald *et al.*, 1996) y registrando la Ip % en cada uno de esos

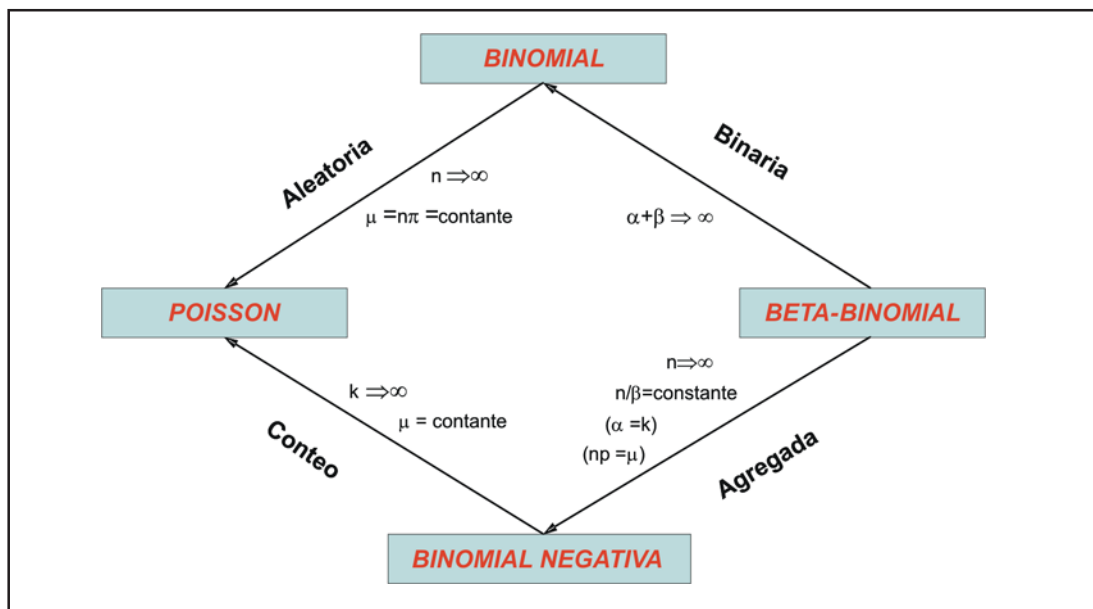


Figura 2. Relaciones entre cuatro distribuciones discretas frecuentemente usadas. (Madden y Hughes, 1995).

grupos (cuadrantes). El $I\beta$ esta determinada por la relación varianza observada/varianza binomial. El test de Chi-cuadrado ($p < 0.05$) fue utilizado como test de bondad de ajuste, calculado por $I\beta (Nq-1)$, donde Nq representa el número de cuadrantes y $Nq-1$ el número de grados de libertad. Si el valor de $I\beta$ no es significativamente diferente de 1 ($p > 0.05$), el padrón de distribución de la enfermedad se considera indistinguible del azar (distribución binomial). Un gran índice $I\beta > 1$ o pequeño (< 1) sugieren rechazo de la hipótesis nula (H_0 , padrón al azar) a favor de padrón agregado de la distribución de árboles afectados (Gottwald *et al.* 1996). El software desarrollado por Madden y Hughes para el ajuste de la Distribución Beta Binomial versión 1.3 (1994, *Ohio State University*) fue utilizado para este análisis.

El análisis geoestadístico fue desarrollado con el programa GS+ (*Geostatistics for the Environmental Sciences*. V 5.1.1. USA) con el que se calculó la semivarianza $\gamma(h)$ entre plantas en cada cuadro de producción. Se graficó $\gamma(h)$ (semi-varianza de las diferencias entre medias de grados de enfermedad entre todas las unidades muestreadas para una distancia dada) versus la distancia entre plantas en forma omnidireccional (Chellemi *et al.* 1988). Se ajustaron los modelos comúnmente empleados en geoestadística, para evaluar la relación semivarianza – distancia (Cressie, 1985 y Gottwald *et al.* 1996). Se calcularon los coeficientes espaciales de autocorrelación por medio del Índice de Morán= I (Morán 1950; Nicot *et al.* 1984), para cuantificar la relación de dependencia de los valores entre plantas contiguas con otras a las diferentes distancias estudiadas, en cada uno de los cuadros (variedad x I_p %). El índice de Morán es un índice de fácil manejo y muy similar al frecuentemente usado coeficiente de correlación entre dos variables.

Los parámetros estimados *Theta* (θ) y *Rho* (ρ) del ajuste de la distribución Beta Binomial de la incidencia de plantas (I_p %) para cada cuadro fueron utilizados para estimar el número mínimo de grupos de 4 plantas a medir (2×2) para la estimación de la Incidencia de plantas (I_p %) con una preci-

sión del 20% (como porcentaje de I_p %) y dentro de un intervalo de confianza del 95%. De esta forma, para una incidencia $I_p = 1\%$, el error (como porcentaje de I_p %) aceptado (precisión) estaría entre 0.08% y 1.20 %, dentro de un intervalo de confianza del 95%.

Selección de plantas para la estimación de I_f % en el cuadro de producción

En cada uno de los cuadros de producción elegidos anteriormente, con excepción de los cuadros de Clementina, se evaluaron 100 árboles un mes antes de la cosecha comercial, seleccionados al azar en todo el cuadro, en cada árbol se observaron 200 frutos, computando la presencia o ausencia de la enfermedad en cada uno de ellos. Estos 200 frutos, fueron observados de 4 grupos de 50 frutos cada uno, correspondientes los cuatro sectores en que se dividió la planta en sentido meridional: Noreste (NE), Sureste (SE), Suroeste (SO) y Noroeste (NO). En cada cuadro de producción se observaron por lo tanto 20.000 frutos.

Estimación de la incidencia de frutos afectados (I_f %) en un cuadro de producción comercial

De la evaluación de la fruta en cada sector, se calculó el promedio de fruta afectada por cada sector del árbol (4 sectores = 4 puntos cardinales) y se relacionó con la I_p % y con la I_f % del cuadro total.

Al igual que para estimar la incidencia de plantas afectadas, se estimó su varianza poblacional a través del ajuste de los parámetros *Theta* (θ) y *Rho* (ρ) de la distribución Beta Binomial en cada cuadro (Variedad x I_p %), realizando por separado el análisis de la agregación de los frutos entre los árboles y entre los cuatro sectores de los árboles. A partir de éstos se determinó el número de plantas y de frutos dentro de las plantas que se deben muestrear para la estimación de I_f % en el cuadro de producción comercial de las variedades en estudio.

Para el análisis estadístico general se emplearon las rutinas estadísticas clásicas Proc Glim y Genmod del SAS (SAS Inst. Inc. Carv, N.C.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dispersión de los árboles afectados en el terreno

En la mayor parte de los casos analizados, la enfermedad presenta un padrón de distribución agregado. En general el índice de dispersión ($I\beta$) aumenta a medida que aumenta la incidencia de plantas afectadas (I_p %) para todas la variedades estudiadas (Cuadro 1, a,b,c, y d). El valor de $I\beta$ más bajo casi siempre se ha observado con las I_p % más bajas en todas las variedades, lo

que coincide con Gottwald (1996) y corresponde a estados iniciales de la enfermedad en el cuadro de producción. Las variedades de Valencia y Clementina, en la mayoría de los casos evaluados para las distintas I_p %, tienen un índice de dispersión ($I\beta$) estadísticamente significativo (agregación significativa), mientras que en Navel y Limón a bajas I_p % la agregación no dio significativa, a favor de la dispersión al azar (Cuadro 1, a,b,c, y d). Con I_p % muy altas, mayores del 70% nuevamente bajan los índices de dispersión $I\beta$, aunque siguen siendo significativamente distintos del padrón al azar. Lo que se ha visto con I_p % muy altas es la agregación de plantas sin síntomas de Xac. Las plantas afectadas en los distintos casos estudiados muestran un padrón de distribución semejante pero no idéntico, manifestando así la alta varia-

Cuadro 1a. Estimación de parámetros de la distribución de frecuencias de plantas afectadas con Xac en el cuadro de producción.

VALENCIA	I_p %	Parámetros de Distrib Beta Binomial		Test Homogeneidad Varianza $p <$	Indice Dispersión $I\beta$	C BBD C_α $p <$	X^2
		ρ	θ				BBD $p <$
2 x 2	2,5%	0,10	0,09	0,010	1,29	0,002	0,0001
	17%	0,13	0,11	0,008	1,35	0,002	0,46
	51%	0,12	0,11	0,009	1,34	0,002	0,07
	66%	0,24	0,19	0,001	1,58	0,001	0,039
	74%	0,41	0,29	0,0001	1,88	0,001	0,87
3 x 3	2,5%	0,04	0,04	0,0280	1,36	0,019	0,0001
	17%	0,19	0,16	0,0001	2,35	0,0001	0,33
	51%	0,07	0,06	0,0090	1,55	0,0030	0,096
	66%	0,21	0,17	0,0001	2,38	0,0001	0,029
	74%	0,50	0,33	0,0001	3,72	0,0001	0,59

Cuadro 1b. Estimación de parámetros de la distribución de frecuencias de plantas afectadas con Xac en el cuadro de producción.

NAVEL	I_p %	Parámetros de Distrib Beta Binomial		Test Homogeneidad Varianza $p <$	Indice Dispersión $I\beta$	C BBD C_α $p <$	X^2
		ρ	θ				BBD $p <$
2 x 2	6%	0,0001	0,0001	0,569	0,97	ns	-
	20%	0,21	0,17	0,011	1,41	0,03	0,0001
	52%	0,28	0,22	0,001	1,67	0,0001	0,09
	64%	0,01	0,01	0,367	1,04	0,396	0,74
3 x 3	6%	0,02	0,02	0,220	1,17	0,23	0,0001
	20%	0,15	0,13	0,002	1,77	0,0001	0,0001
	52%	0,36	0,27	0,001	3,20	0,001	0,172
	64%	0,08	0,07	0,003	1,62	0,001	0,743

Cuadro 1c. Estimación de parámetros de la distribución de frecuencias de plantas afectadas con *Xac* en el cuadro de producción.

LIMON	I p %	Parámetros de Distrib Beta Binomial		Test Homogeneidad	Indice Dispersión	C BBD	X ²
		ρ	θ	Varianza p<	I _β	C _α p<	BBD p<
2 x 2	4%	0,09	0,08	0,314	1,05	0,32	0,0001
	5%	0,20	0,17	0,001	1,52	0,001	0,0001
	13%	0,02	0,02	0,272	1,08	0,279	0,001
	47%	0,42	0,29	0,0001	1,91	0,0001	0,64
	82%	0,05	0,05	0,163	1,17	0,155	0,0001
3 x 3	4%	0,05	0,05	0,0110	1,41	0,005	0,0001
	5%	0,05	0,05	0,0370	1,41	0,028	0,001
	13%	0,13	0,12	0,0001	1,97	0,0001	0,6
	47%	0,21	0,17	0,0001	2,46	0,0001	0,905
	82%	0,002	0,002	0,3860	1,06	0,47	0,0001

Cuadro 1d. Estimación de parámetros de la distribución de frecuencias de plantas afectadas con *Xac* en el cuadro de producción.

CLEMENTINA	I p %	Parámetros de Distrib Beta Binomial		Test Homogeneidad	Indice Dispersión	C BBD	X ²
		ρ	θ	Varianza p<	I _β	C _α p<	BBD p<
2 x 2	7%	0,18	0,15	0,0001	1,46	0,0001	0,05
	21%	0,16	0,14	0,019	1,44	0,006	0,001
	71%	0,32	0,24	0,0001	1,97	0,0001	0,337
	69%	0,44	0,31	0,001	1,75	0,001	0,269
	73%	0,35	0,26	0,001	1,95	0,001	0,021
3 x 3	7%	0,14	0,12	0,0001	2,03	0,0001	0,83
	21%	0,11	0,10	0,1130	1,37	0,129	0,0001
	71%	0,20	0,17	0,0001	2,96	0,0001	0,05
	69%	0,32	0,24	0,0001	2,43	0,0001	0,234
	73%	0,35	0,26	0,0001	3,15	0,0001	0,65

ción dada por la interacción variedad (genotipo) x condiciones locales.

El valor de la agregación -sin lugar a dudas- cambia con el tamaño del grupo (cuadrante) de muestreo, en todos los casos -a igualdad de otros factores-, grupos de 9 plantas (3x3) manifiestan más agregación que grupos de 4 plantas (2x2). Esta relación es muy útil en el momento de decidir la forma de muestrear árboles en el terreno.

Por otro lado, la distribución espacial de las plantas la podemos observar en las figuras 3 a,b,c, d y e que de acuerdo al análisis geoestadístico, y empleando los procedimientos de análisis de semivariogramas, éstas no se ajustaron satisfactoriamente bien en su mayoría a los modelos propuestos (Cressie, 1995), lo que queda de

manifiesto por su bajo r² en casi todas las situaciones analizadas (Cuadro 2). El alto componente de la varianza nugget respecto a la varianza total nos refleja la naturaleza lineal horizontal, lo que sugiere una patrón de distribución espacial al azar (la varianza cambia poco entre plantas con una distancia mayor a 1 intervalo de árbol), para la mayoría de los casos estudiados. La semivarianza γ(h) cambia muy poco con los pares de valores en las distintas distancias (Figura 4).

Ahora bien, a través de la estimación del índice de dispersión (I_β) de la distribución de la frecuencia poblacional de los árboles afectados, este nos sugiere que existe estadísticamente agregación de las plantas en los grupos 2x2 y 3x3 (Cuadro 1), confirmando para Uruguay lo observado en viveros de cítricos

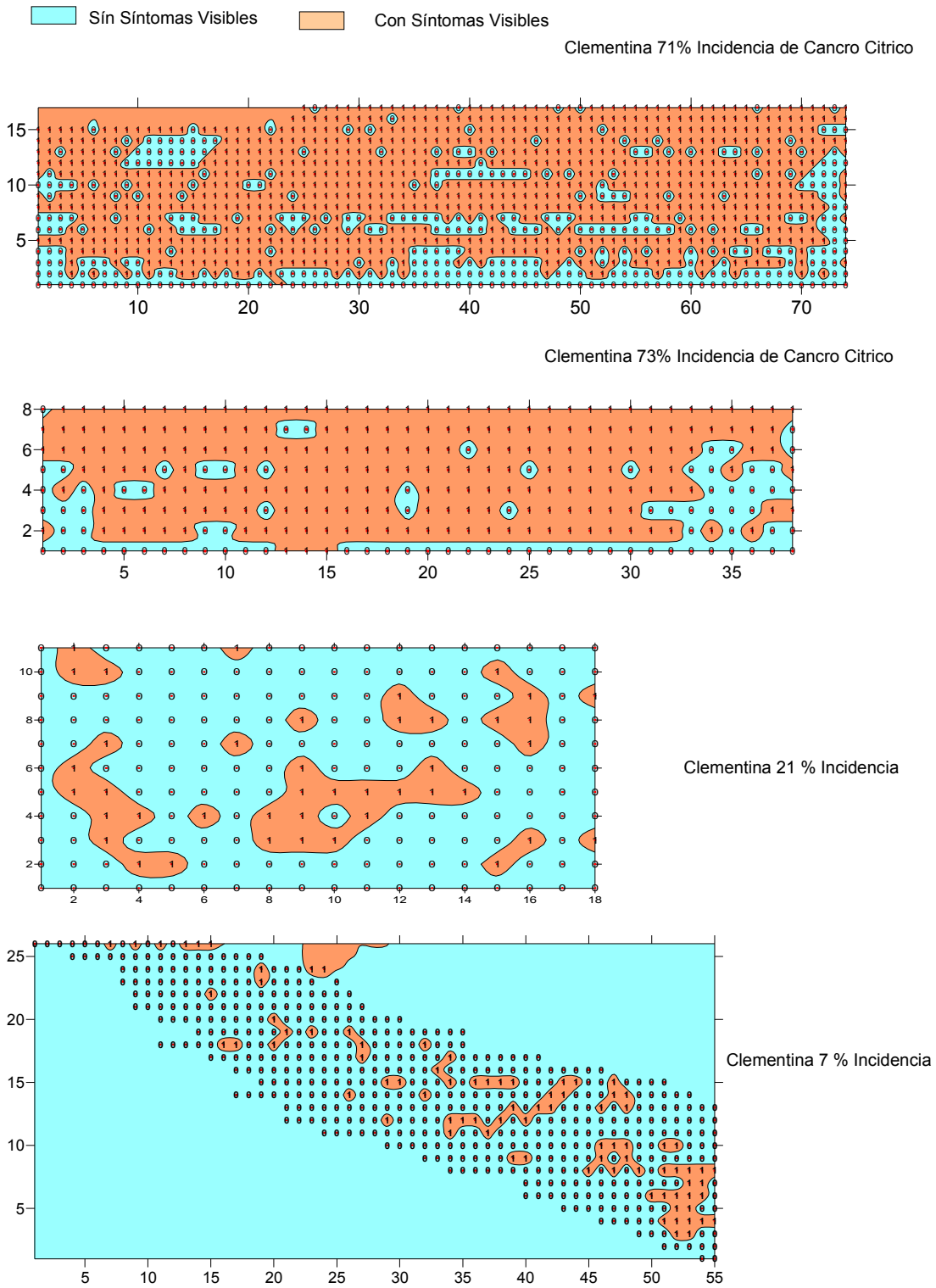


Figura 3a. Croquis de la distribución espacial de plantas con síntomas visibles de Xac en los cuadros de producción con distinta incidencia de plantas afectadas (Ip%). Clementinas.

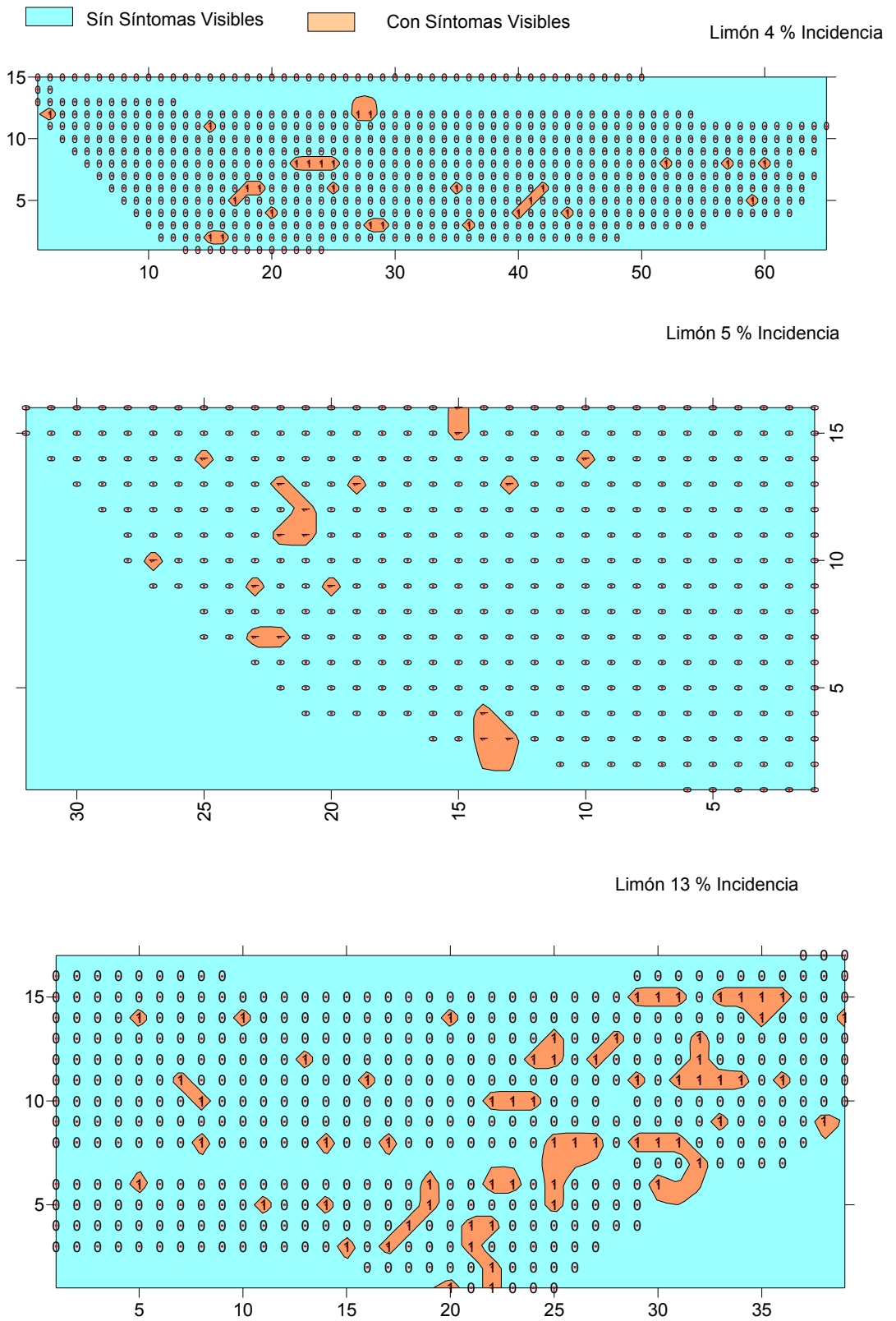


Figura 3b. Croquis de la distribución espacial de plantas con síntomas visibles de Xac en los cuadros de producción con distinta incidencia de plantas afectadas (Ip%). Limón.

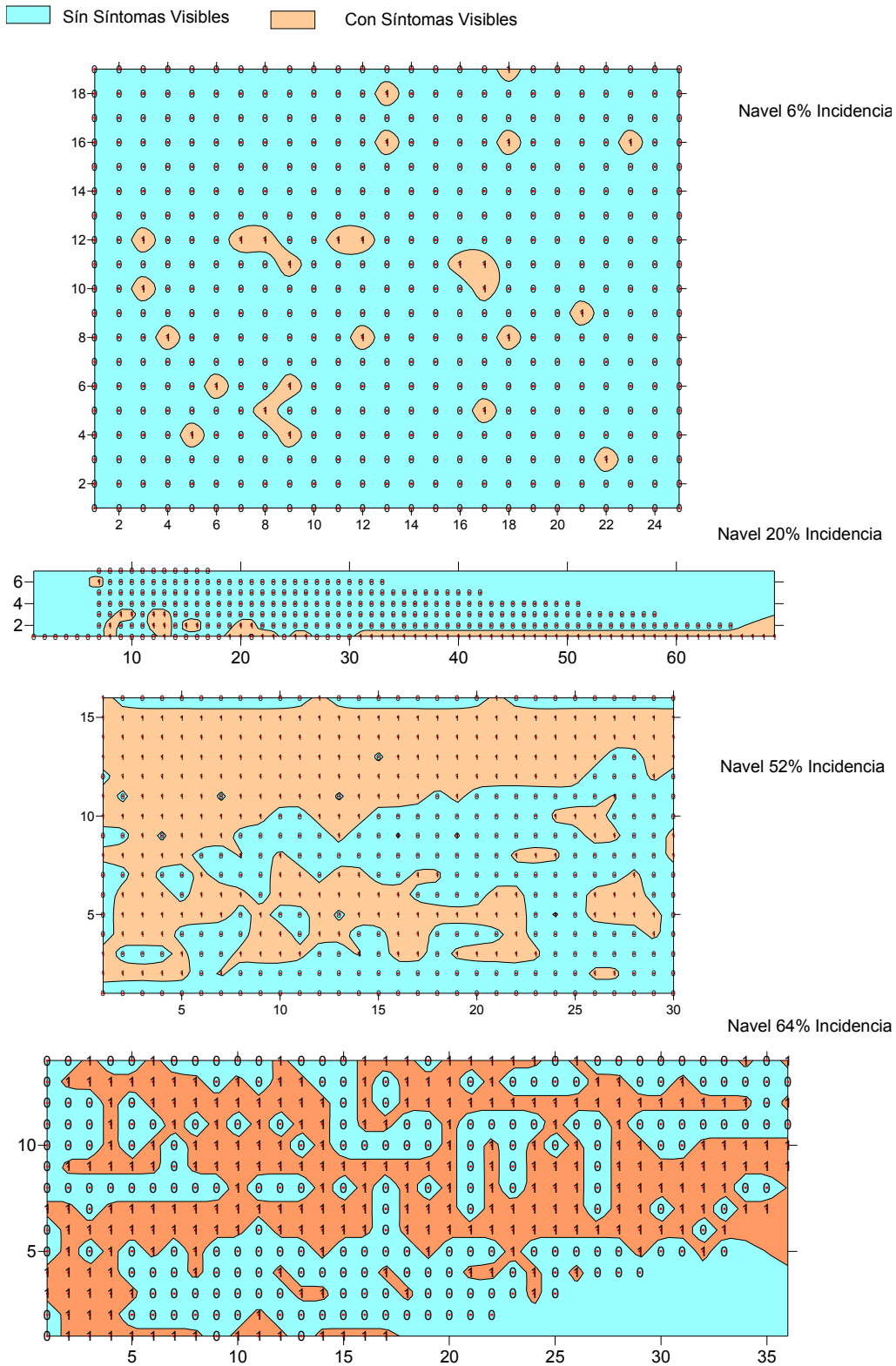


Figura 3c. Croquis de la distribución espacial de plantas con síntomas visibles de Xac en los cuadros de producción con distinta incidencia de plantas afectadas (Ip%). Navel.

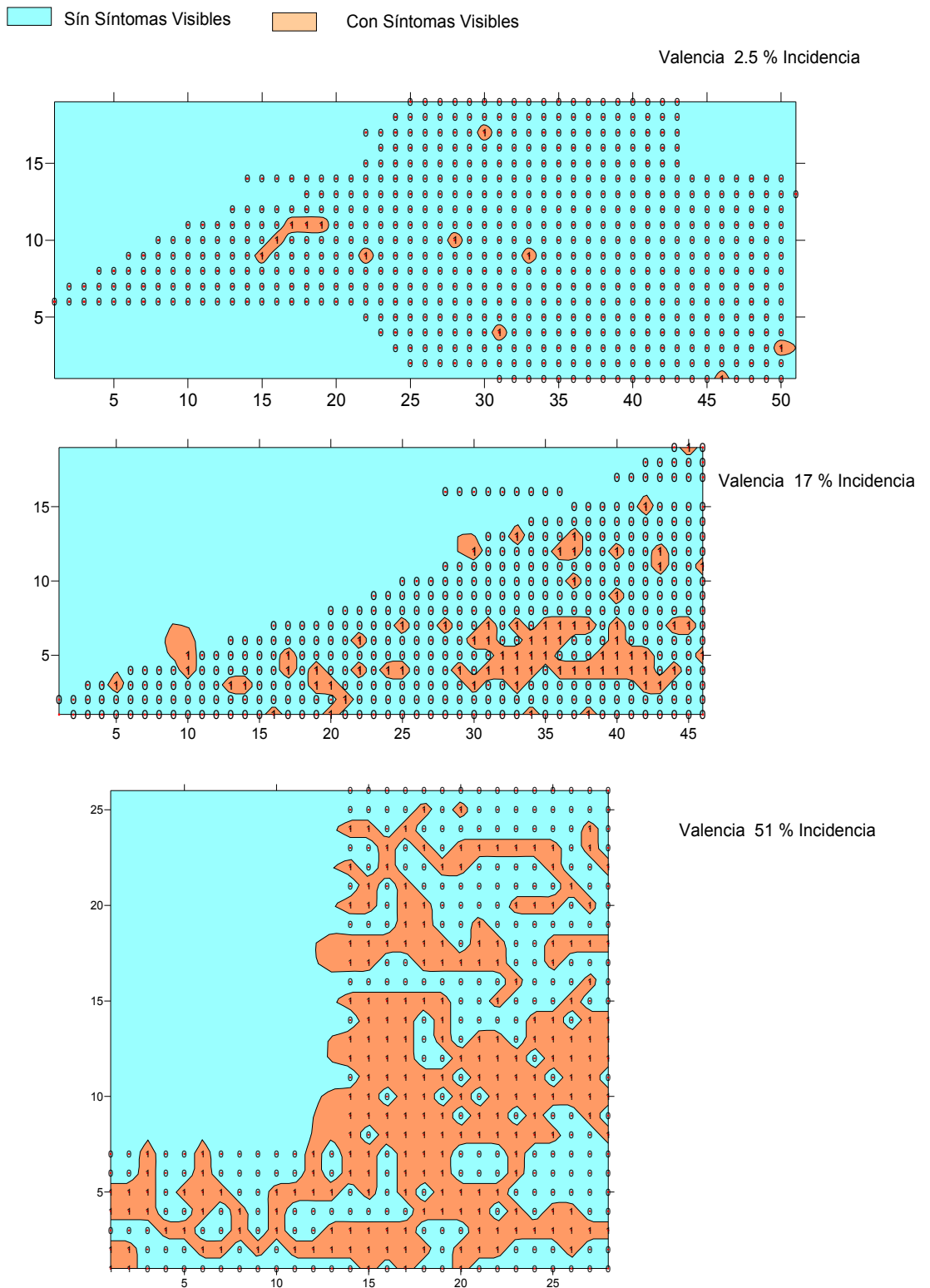


Figura 3d. Croquis de la distribución espacial de plantas con síntomas visibles de *Xac* en los cuadros de producción con distinta incidencia de plantas afectadas (Ip%). Valencia.

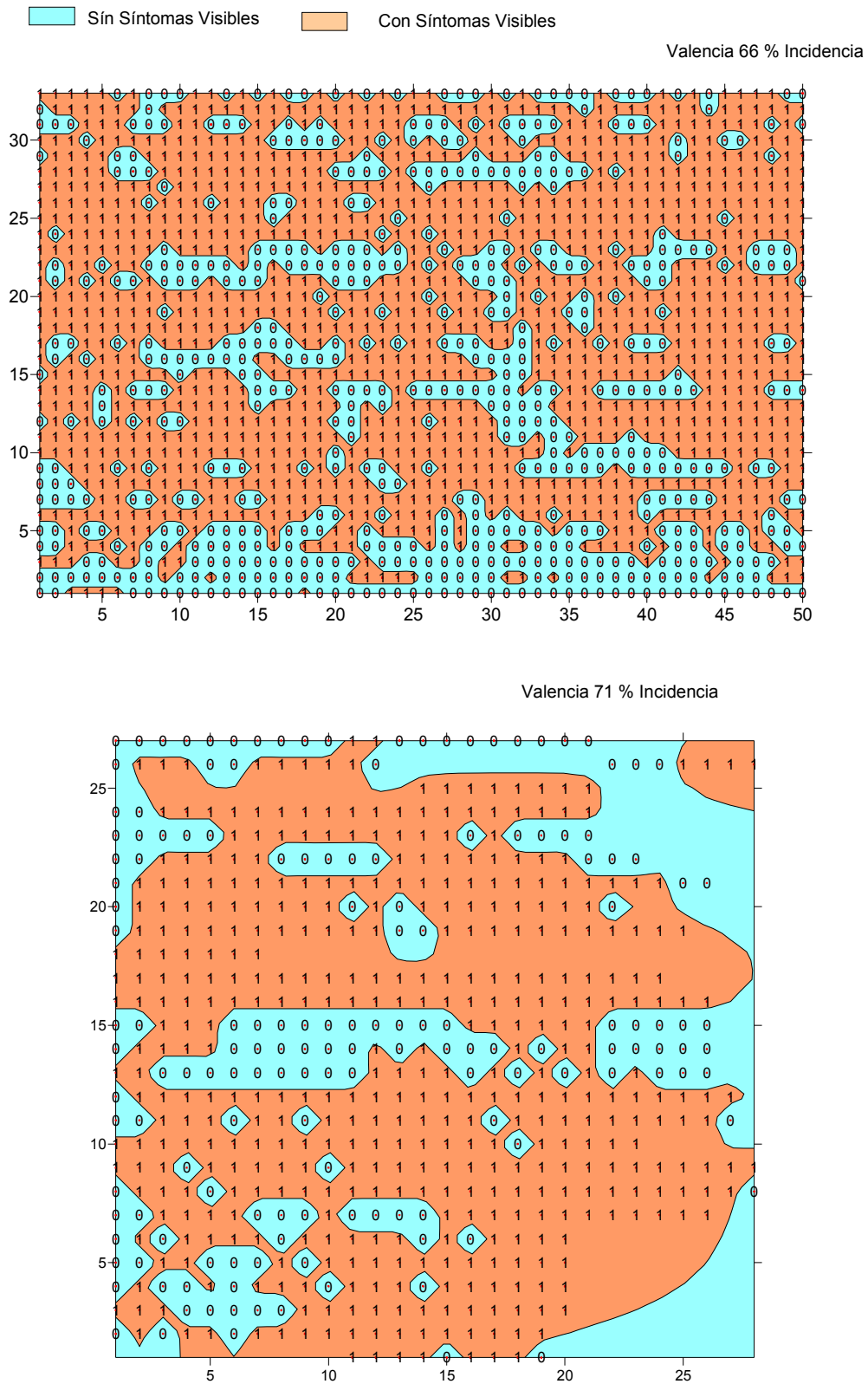


Figura 3e. Croquis de la distribución espacial de plantas con síntomas visibles de *Xac* en los cuadros de producción con distinta incidencia de plantas afectadas (Ip%). Valencia.

Cuadro 2a. Incidencia de plantas afectadas con *Xac* (Ip %) en el cuadro de producción. Parámetros del ajuste de los semivariogramas.

VALENCIA	Ip %	Varianza	Varianza	Rango	r ²
		Nugget C ₀	Total C ₁	A ₀ Intervalo 1 árbol	
	2.5%	0.016	0.033	61.0	0.331
	17%	0.139	0.139	29.0	0.371
	51%	0.246	0.247	28.0	-
	66%	0.186	0.373	81.0	0.810
	74%	0.158	0.318	51.0	0.560

Cuadro 2b. Parámetros del ajuste de los semivariogramas. Incidencias de plantas afectadas con *Xac* (Ip %) en el cuadro de producción.

NAVEL	Ip %	Varianza	Varianza	Rango	r ²
		Nugget C ₀	Total C ₁	A ₀ Intervalo 1 árbol	
	6%	0.056	0.057	14.4	0.270
	20%	0.117	0.236	86.7	0.003
	52%	0.210	0.421	61.0	0.003
	64%	0.245	0.249	24.3	0.010

Cuadro 2c. Parámetros del ajuste de los semivariogramas. Incidencias de plantas afectadas con *Xac* (Ip %) en el cuadro de producción.

LIMON	Ip %	Varianza	Varianza	Rango	r ²
		Nugget C ₀	Total C ₁	A ₀ Intervalo 1 árbol	
	4%	0.039	0.039	34.0	0.721
	5%	0.038	0.079	51.0	0.784
	13%	0.116	0.120	29.1	0.062
	47%	0.199	0.419	39.0	0.922
	82%	0.148	0.145	39.1	0.020

Cuadro 2d. Parámetros del ajuste de los semivariogramas. Incidencias de plantas afectadas con *Xac* (Ip %) en el cuadro de producción.

CLEMENTINA	Ip %	Varianza	Varianza	Rango	r ²
		Nugget C ₀	Total C ₁	A ₀ Intervalo 1 árbol	
	7%	0.112	0.224	91.0	0.402
	21%	0.166	0.166	14.0	0.492
	69%	0.236	0.260	24.0	0.002
	71%	0.174	0.348	91.0	0.436
	73%	0.152	0.414	62.5	0.889

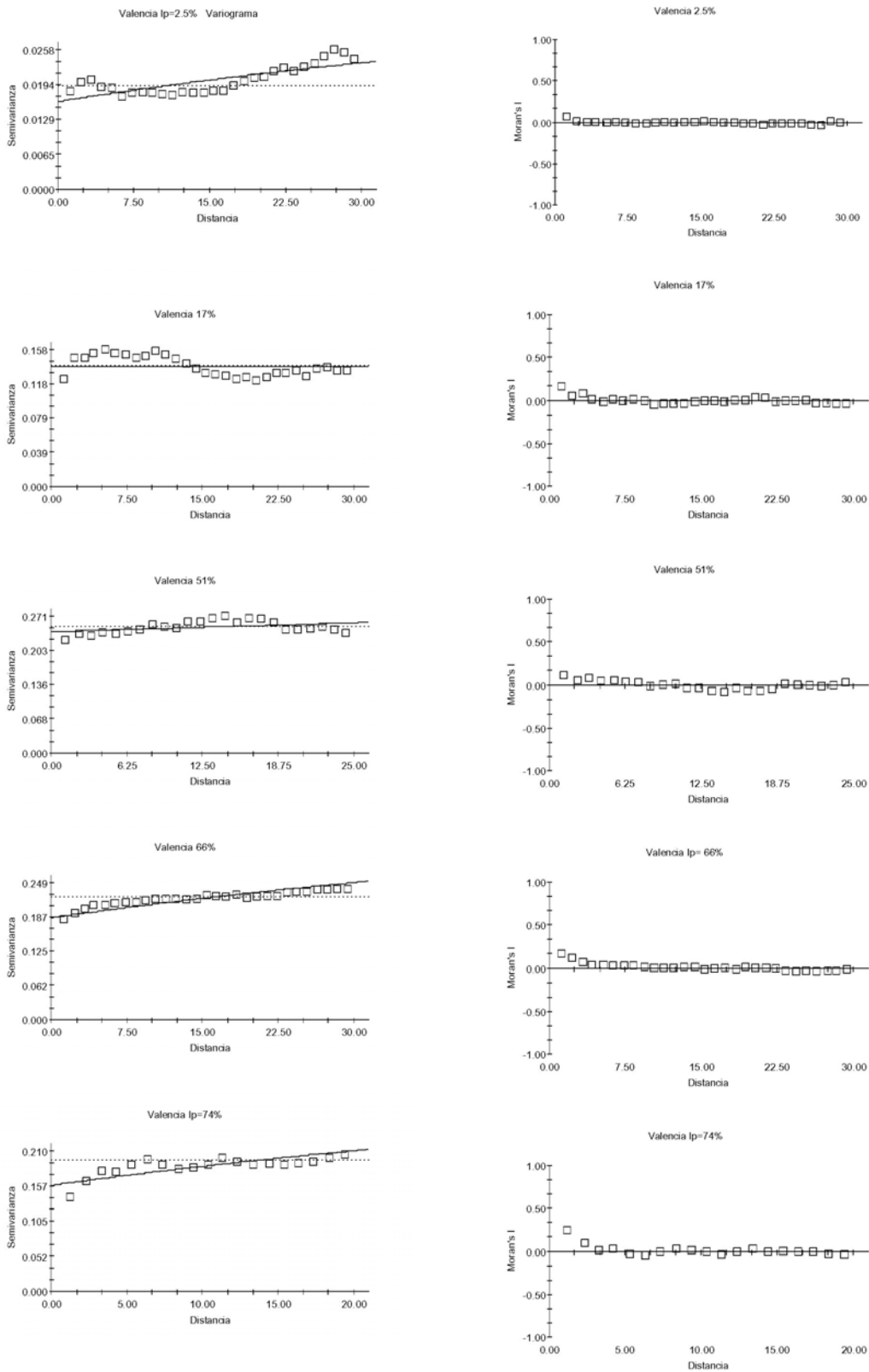


Figura 4. Semivarianza g (h) de la incidencia de plantas afectadas por *Xac* en función de la distancia entre plantas para los cuadros de producción de cítricos.

por Gottwald *et al.* (1988, 1989) en Argentina. Al mismo tiempo y observando su distribución en el terreno, vemos que estos cuadrantes (grupos o agregados) de uno (2x2) o dos (3x3) espacios entre árboles están distribuidos con un padrón espacial al azar, como sugiere el análisis de las semivarianzas $\gamma(h)$ (Cuadro 2 y Figura 4) lo que coincide con las observaciones realizadas en Brasil (Fernández *et al.* 2000), que -entre otros factores- puede deberse a la dispersión ocasionada por el daño en la hoja del minador de los cítricos (*Phyllocnistis citrella* Stanton) como es sugerido por Gottwald *et al.* (1992). Teniendo en cuenta estos dos análisis, podemos proponer que las plantas están agregadas en grupos pequeños, al comienzo de la infección de un cuadro de producción, con un intervalo de una planta (2x2), pero que estos grupos están distribuidos con un padrón al azar en el espacio (terreno), incluso llegan a confluir en Ip % medias y altas, hasta llegar a observarse en condiciones de campo grupos agregados de plantas sanas.

Estas observaciones sugieren -al menos- dos caminos a recorrer, que dependerán de nuestro objetivo principal. Por un lado, la meta podría ser localizar y cuantificar grupos (agregados) de plantas afectadas (habitualmente una o varias plantas del grupo) a los efectos de erradicación en medianas extensiones o del uso de alguna otra medida de contención de la enfermedad. Por otro lado, la meta podría ser localizar y cuantificar plantas individuales, sobre todo a muy baja incidencia de plantas afectadas, a los efectos de estimar el Ip % con más precisión y si fuera el caso eliminar la planta y/o sus aledañas debido a sus características de dispersión. En el primer caso, donde lo que nos interesa es el grupo de plantas afectadas, y se procura determinar el número mínimo de plantas a observar asumiendo un padrón aleatorio (de los grupos agregados) y por ser la incidencia (Ip %) una variable binaria, correspondería estimar la varianza poblacional a través de la distribución Binomial. En el segundo caso, se asume un padrón agregado de las plantas, y entonces para determinar el número mínimo de plantas que se deben observar,

es preferible estimar la varianza poblacional a través de la distribución Beta Binomial.

Número de plantas a muestrear en el terreno para estimar Ip %

La determinación del número mínimo de plantas a observar en el terreno, a los efectos de poder estimar la incidencia de árboles afectados con *Xac* (Ip %) en un cuadro de producción, va a estar altamente asociado al conocimiento previo de la varianza poblacional o al buen ajuste de la distribución de frecuencias de la población de nuestra variable Ip %. Como se ha visto anteriormente la Ip % no presenta una distribución aleatoria (Cuadro 1). En estos casos no pueden utilizarse para la estimación del tamaño de la muestra las ecuaciones comúnmente empleadas debido a que el padrón de distribución de las plantas afectadas es mayormente agregado, lo que llevaría a ignorar el supuesto de aleatoriedad en la distribución Binomial de una variable binaria (presencia/ausencia) que en esos casos es exigida. A tal efecto se estimaron los parámetros de la distribución de plantas afectadas, *Theta* (θ) y *Rho* (ρ) (Cuadro 1) a través de la distribución Beta Binomial para cada uno de los cuadros (variedad x Ip%) (Madden *et al.*, 1994, 1995).

Tomando como criterio la incidencia de plantas afectadas (Ip %) y los parámetros (θ) y (ρ) de la distribución Beta Binomial, se estimó el número de plantas a observar en el terreno para un cuadro de producción, a través del número de cuadrantes de plantas y del número de plantas por cuadrante (2,3 ó 4), con una precisión del 20% del porcentaje de la media (Ip %) y con un intervalo de confianza del 95% (Figura 5). La escala logarítmica de Ip %, nos hace ver claramente que para incidencias bajas (Ip %) de plantas afectadas del orden del 1%, la cantidad de cuadrantes a muestrear (dentro de él todas las plantas) es alta, a medida que reducimos el número de plantas en cada cuadrante el número mínimo a observar de los mismos aumenta para mantener la precisión buscada. Por otro lado al tener las cuatro variedades índices de dispersión

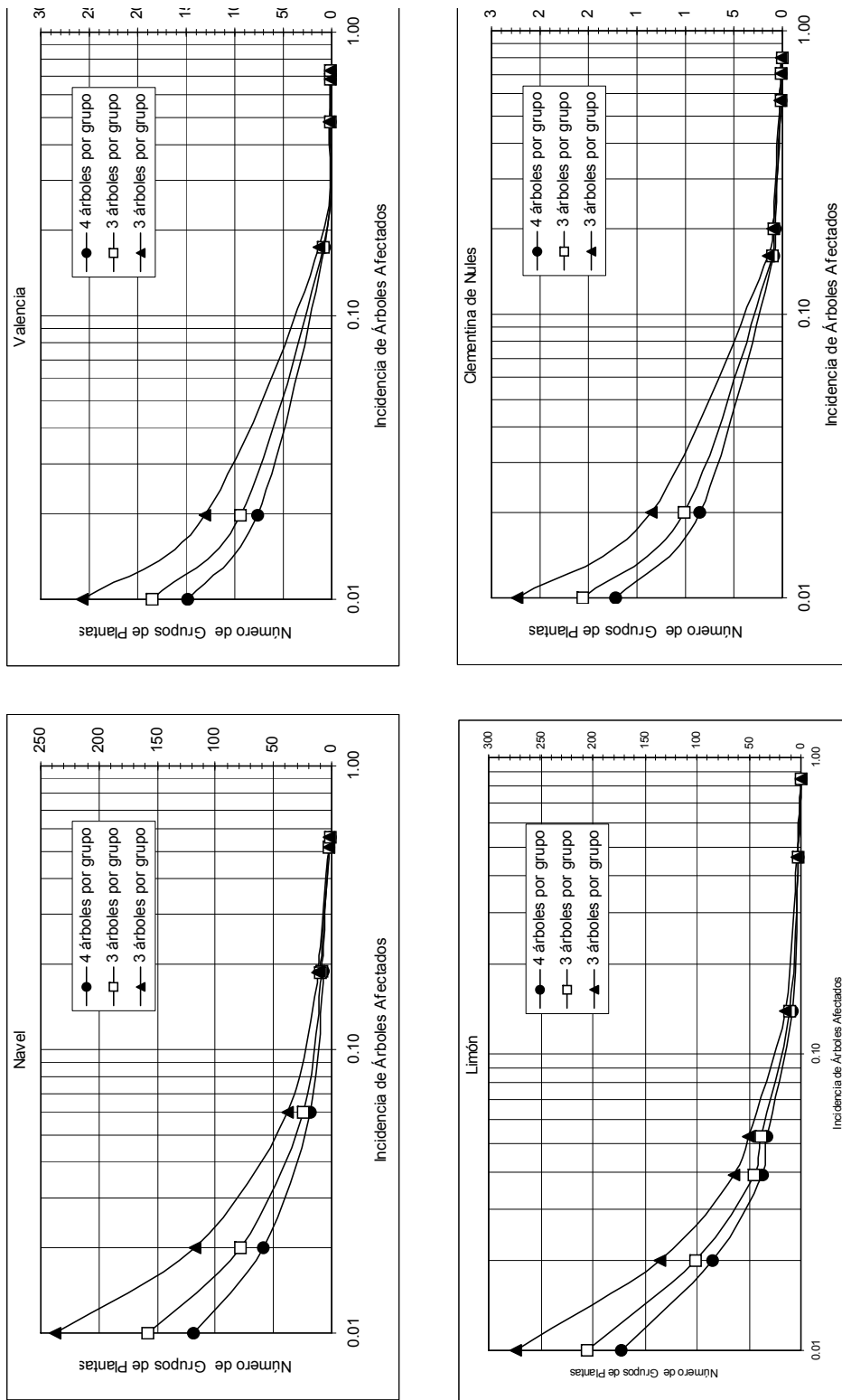


Figura 5. Estimación del número mínimo de grupos de plantas a muestrear para un error de la media (lp %) del 20%, con un intervalo de confianza del 95%.

(agregación) semejantes ($I\beta$) pero no iguales, en el momento de estimar el tamaño de muestra con la que trabajar, estas diferencias se notan.

Ejemplo: Si queremos detectar en Navel, una incidencia de plantas del 1% ($I_p\% = 0.01$) dentro de un intervalo de confianza del 95% y con una precisión del 20% de $I_p\%$ (entre 0.08% y 1.20%), debemos emplear 120 grupos de 4 plantas cada uno (480 plantas), pero si queremos en Navel detectar una incidencia del 2% ($I_p\% = 0.02$) para un error del 20% dentro de un intervalo de confianza del 95%, debemos emplear 74 grupos de 4 plantas (296 plantas), estas grandes diferencias se deben precisamente a la agregación de las plantas. Si empleamos las distribuciones aleatorias binomiales o normales esta diferencia es menor, perdiendo precisión en las bajas $I_p\%$ y mejorando la precisión con $I_p\%$ mayores.

Desde el punto de vista práctico estos cálculos nos ayudan a ver que cuando queremos detectar con fines de certificación "cuadro libre de plantas con síntomas visibles de *Xac*" se deben hacer muestreos cercanos al censo (100% de las plantas); es-

pecialmente en Uruguay donde el 80% de los cuadros comerciales de exportación inscriptos en el Sistema de Certificación Fitosanitaria de Fruta Cítrica (MGAP-DGSA) tienen menos de 750 plantas (Figura 6); mientras que para estimar incidencias iguales o superiores al 2% de las plantas ya hablamos de valores de muestreos (número de grupos) muy razonables y de fácil utilización.

Dispersión de los frutos afectados ($I_f\%$) entre plantas y dentro de la planta

Las variedades estudiadas (Limón, Valencia y Navel) tuvieron valores de incidencia de frutos afectados relativamente bajos, en casi todos los casos de Valencia y Limón y valores algo mayores en los cuadros de Navel, cuando se toma en cuenta los cuatro sectores del árbol en su conjunto (Cuadro 3a).

En los tres grupos varietales no se encontró una relación directa y consistente entre el número de plantas afectadas con *Xac* ($I_p\%$) en el cuadro evaluado y la inci-

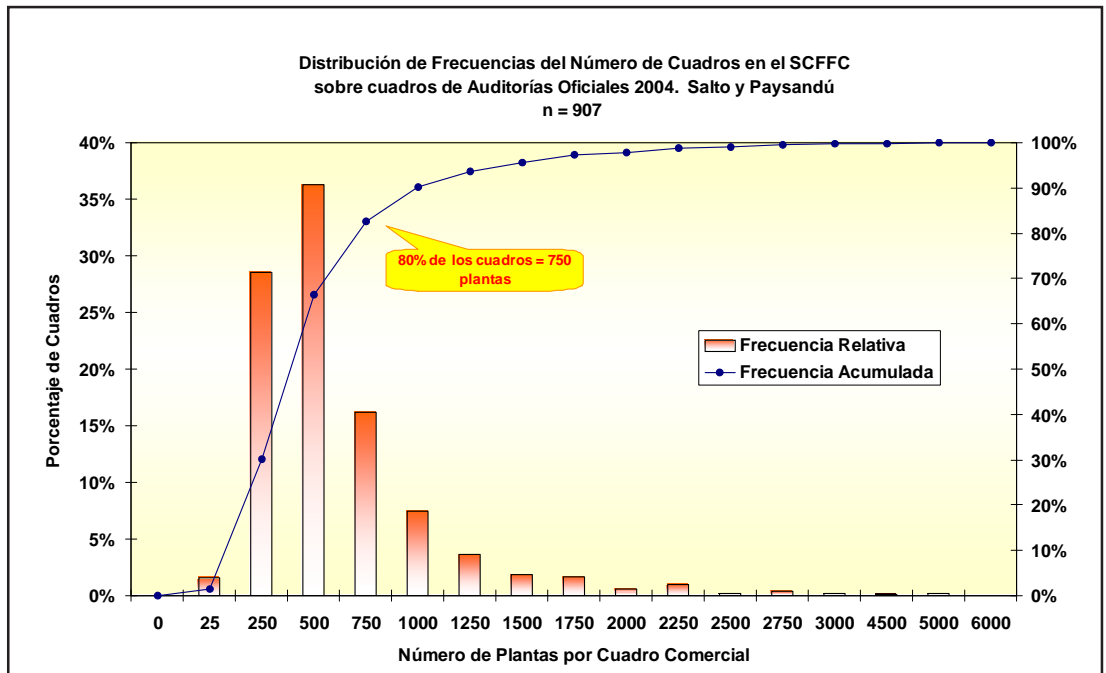


Figura 6. Distribución de frecuencias del número de cuadros de producción de cítricos inscriptos en el Sistema de Certificación Fitosanitaria de Fruta Cítrica. Cuadros con auditoría oficial 2004. (MGAP-DGSA).

dencia en frutos afectados (If %) en el mismo cuadro de producción (Cuadro 3a). En términos de incidencia, no podemos afirmar que a mayor incidencia de plantas afectadas en el cuadro habrá una mayor incidencia de frutos afectados en el mismo.

La incidencia de frutos afectados (If %) con síntomas de *Xac*, varía de acuerdo a la posición cardinal del sector meridional. Hay una tendencia a que los sectores orientados al SE y SO tengan una mayor If %, que los orientados al NE y NO, pero no es consistente estadísticamente en todas las Ip % y en todas las variedades. Esta tendencia se mantiene, cuando evaluamos cada situación (variedad x Ip %), separando las plantas de acuerdo al número de sectores afectados (de 1 a 4) y calculando el If % en relación a la posición del sector afectado (Cuadros 3b,c,d).

En las plantas que tenían un solo sector con frutos afectados, se encontraron diferencias significativas en la If %, respecto a la orientación del sector afectado, ya sea entre cuadros de la misma variedad como entre variedades. A pesar de que los sectores orientados SE y SO tienden a tener mayor Ip %, esta orientación no se mantiene en todos los casos, es bastante clara en los cuadros de Navel, pero no tanto en Limón y menos en Valencia (Cuadros 3b,c,d).

Por otro lado, la incidencia de frutos (If %) afectados aumenta a medida que aumenta el número de sectores afectados; de esta forma para una misma variedad con una determinada (Ip %), a mayor número de sectores afectados en la planta (máximo 4), mayor va a ser el If % de esas plantas (Cuadros 3b,c,d).

Cuadro 3a. Incidencia de frutos afectados con síntomas de *Xac* (If %), en función de la orientación cardinal del sector en árbol y de la incidencia de plantas afectadas. 100 árboles por sitio y 200 frutos por árbol.

IF (%) = Incidencia de frutos

Ip (%) = Incidencia de plantas

Limón	Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	If %	Ip %
	C45	^a 0.04	0.1	0.0	0.1	ns	0.04	4
	C59	0.0	0.2	0.1	0.0	ns	0.08	5
	C20	0.1	0.0	0.0	0.0	ns	0.05	13
	C18	0.7	0.5	0.3	0.1	ns	0.41	47
	C17	2.8	3.4	4.0	3.1	ns	3.32	82
	C44	0.3 b	0.3 b	1.3 a	0.7 ab	0.03	0.63	100

Valencia	Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	If %	Ip %
	LC4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.00	3
	C19	0.0	0.0	0.0	0.0	ns	0.02	17
	LC35	0.0	0.0	0.0	0.0	ns	0.01	51
	C1	0.1	0.1	0.1	0.2	ns	0.12	66
	C35	0.0	0.0	0.0	0.1	ns	0.03	73
	C10	0.0	0.0	0.0	0.0	ns	0.01	100

Navel	Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	If %	Ip %
	C3	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.01	6
	C9	1.5 b	3.6 ab	4.1 a	1.9 ab	0.03	2.79	52
	C32	0.5	0.6	0.4	0.5	ns	0.50	64
	C50	19.0 a	18.2 ab	12.2 c	14.6 abc	0.02	16.02	100
	C24	0.4	0.7	0.8	0.3	ns	0.05	100

^a Medias en la fila seguidas por distinta letra son significativamente diferentes (p<sig.).

ns = no significativa

Proc Genmod. D = Binomial. Link = Logistic. Scale = Pearson (Dispersión)

Cuadro 3c. Incidencia de frutos afectados con síntomas de *Xac* (If %), en función del número de sectores afectados por planta y de la orientación cardinal del sector en árbol. 100 árboles por sitio y 200 frutos por árbol.

IF (%) = Incidencia de frutos

Ip (%) = Incidencia de plantas

Limón 1 solo sector por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
C45	0.0	3.4	0.0	3.1	ns	4
C59	0.0	1.3	0.9	0.6	ns	5
C20	2.0	0.3	0.0	0.3	ns	13
C18	2.0	0.2	0.0	0.2	ns	47
C17	1.1	0.6	0.7	1.0	ns	82
C44	0.2	0.6	3.1	0.6	ns	100

Limón 2 sectores por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
C45	2.4	1.9	0.0	0.0	ns	4
C59	1.0	3.3	2.4	0.0	ns	5
C20	0.0	0.0	0.0	0.0	-	13
C18	3.4	2.9	1.7	0.3	ns	47
C17	2.7	4.9	2.0	5.4	ns	82
C44	2.1	1.0	6.8	3.9	ns	100

Limón 3 sectores por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
C45	0.0	0.0	0.0	0.0	-	4
C59	0.0	0.0	0.0	0.0	-	5
C20	0.0	0.0	0.0	0.0	-	13
C18	0.0	0.0	0.0	0.0	-	47
C17	5.9	7.8	4.8	5.9	ns	82
C44	1.4	3.0	4.4	6.0	ns	100

Limón 4 sectores por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
C45	0.0	0.0	0.0	0.0	-	4
C59	0.0	0.0	0.0	0.0	-	5
C20	0.0	0.0	0.0	0.0	-	13
C18	8.2	13.3	8.0	2.5	ns	47
C17	9.3	9.9	24.3	7.5	ns	82
C44	0.0	0.0	0.0	0.0	-	100

^a Medias en la fila seguidas por distinta letra son significativamente diferentes (p<sig.).

ns = no significativa

Proc Genmod. D = Binomial. Link = Logistic. Scale = Pearson (Dispersión)

Cuadro 3c. Incidencia de frutos afectados con síntomas de *Xac* (If %), en función del número de sectores afectados por planta y de la orientación cardinal del sector en árbol. 100 árboles por sitio y 200 frutos por árbol.

IF (%) = Incidencia de frutos

Ip (%) = Incidencia de plantas

Valencia 1 solo sector por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
LC4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	3
C19	0.0 b	0.0 b	1.0 a	2.0 a	0.05	17
LC35	0.0 b	0.0 b	2.4 a	0.0 b	0.05	51
C1	0.0 b	0.0 b	3.3 a	0.0 b	0.05	66
C35	0.0 b	0.5 b	0.0 b	2.8 a	0.05	73
C10	0.0 b	0.0 b	0.0 b	2.4 a	0.05	100

Valencia 2 sectores por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
LC4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	3
C19	0.0	0.0	0.0	0.0	-	17
LC35	0.0	0.0	0.0	0.0	-	51
C1	3.4 ab	2.7 ab	0.0 b	6.8 a	0.04	66
C35	0.0	0.0	0.0	0.0	-	73
C10	0.0	0.0	0.0	0.0	-	100

Valencia 3 sectores por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
LC4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	3
C19	0.0	0.0	0.0	0.0	-	17
LC35	0.0	0.0	0.0	0.0	-	51
C1	0.0	0.0	0.0	0.0	-	66
C35	0.0	0.0	0.0	0.0	-	73
C10	0.0	0.0	0.0	0.0	-	100

Valencia 4 sectores por árbol con frutos afectados con síntomas de *Xac*.

Sitio	NE	SE	SO	NO	sig	Ip %
LC4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	3
C19	0.0	0.0	0.0	0.0	-	17
LC35	0.0	0.0	0.0	0.0	-	51
C1	0.0	0.0	0.0	0.0	-	66
C35	0.0	0.0	0.0	0.0	-	73
C10	0.0	0.0	0.0	0.0	-	100

^a Medias en la fila seguidas por distinta letra son significativamente diferentes ($p < \text{sig.}$).

ns = no significativa

Proc Genmod. D = Binomial. Link = Logistic. Scale = Pearson (Dispersión)

Uno de los factores importantes en la distribución de fruta afectada en el árbol, es la propia distribución de frutas en el dosel foliar de la planta, en definitiva entre los sectores del árbol. La variación de la fruta entre sectores es fácilmente observable entre grupos varietales: naranjas, mandarinas, tangos, etc. y al mismo tiempo es influenciada por las medidas de manejo (raleo, poda, riego) y agroecológicas (cortinas rompevientos, orientación de la fila de plantación) que modifican la distribución de brotes vegetativos, que generarán las flores de las cuales se producirán los frutos.

Número de plantas y de frutos a muestrear en el terreno para estimar el porcentaje de frutos afectados (If %)

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de frutos afectados (If %) entre los distintos sectores del árbol, posiblemente debido a su orientación, número de frutos y cercanía física con otros árboles afectados. Por esta razón, se evaluó dos fuentes de dispersión de la If %: entre plantas (tomando la planta como una unidad) y entre los sectores de la planta en su conjunto. Dado que la If % tiene las mismas características que Ip % (presencia/ausencia de síntomas), se estimaron los parámetros de la distribución de frutos afectados (If %), Θ (θ) y ρ (ρ) a través de la distribución Beta Binomial para cada uno de los cuadros (variedad x Ip%) (Madden *et al.*, 1994, 1995), evaluando la If % de acuerdo a la dispersión entre plantas y entre sectores (Cuadro 4).

Los parámetros estimados de la distribución de frecuencias poblacionales de frutos afectados (If %) con la distribución Beta Binomial fue significativa en casi todos los casos ($p < 0.01$) sugiriendo agregación de los mismos, independientemente si se agregaban en árboles o en sectores. Los Índices de dispersión $I\beta$ para la If % fueron superiores a los índices obtenidos para los índices $I\alpha$ de la Ip %, determinando mayores diferencias con la varianza binomial (padrón al azar), mostrando mayor agregación en

el caso de los frutos afectados (Cuadro 4). Así mismo, en la mayoría de los casos y en especial en Navel y Limón, el índice de dispersión ($I\beta$) fue consistentemente superior en la agregación por sectores, que por plantas. En la variedad Valencia se observó lo opuesto, para todos los rangos de Ip % evaluados.

Para la determinación del número mínimo de árboles (4 sectores por árbol) y del número mínimo de frutos por sector para muestrear, a los efectos de estimar la incidencia de frutos con síntomas de *Xac* en un cuadro de producción de cítricos, se tomó como criterio la mayor agregación de frutos entre los sectores (4 sectores por planta) y se utilizaron los parámetros estimados del ajuste de la distribución Beta Binomial de la If % (Figura 5) para las distintas intensidades esperadas de If %, con una precisión y dentro de un intervalo de confianza apropiados.

Ejemplo: si queremos detectar el 1% de fruta afectada en la estimación del porcentaje de frutos de Valencia afectados con *Xac*, con una precisión del 20% de la media (If % = 0.01) y en un intervalo de confianza del 95%, debemos observar 50 frutos por sector de 40 plantas en el cuadro de producción (Figura 7). Por otro lado, si queremos detectar el 2% de fruta afectada, bajo las mismas condiciones, deberíamos observar 50 frutos por sector del árbol (4 sectores por árbol), en 20 árboles.

CONCLUSIONES

El padrón de distribución de las plantas afectadas con síntomas visibles de *Xac* en el terreno es agregado en casi todos los niveles de incidencia estudiados en las cuatro variedades, Navel, Valencia, Clementina y Limón, en el área noroeste de la zona citrícola de Uruguay, evidenciado por el mejor ajuste de la distribución de frecuencia de plantas afectadas con la distribución Beta Binomial. Se determinó entonces el número mínimo de grupos de plantas y plantas dentro del grupo a observar dada una precisión dentro de un intervalo de confianza previamente establecido, a los efectos

Cuadro 4a. Parámetros de la distribución beta binominal para el porcentaje de frutos con síntomas de *Xac* en cuadros con diferentes I_p %.
Frutos agregados en plantas o sectores.

Navel	Plantas c/síntomas	Incidencia en frutos			$C\alpha$ $p <$
		ρ	θ	$I\beta$	
Planta	100%	0.1874	0.382	28.64	0.001
	64%	0.0057	0.053	6.06	0.001
	52%	0.0281	0.250	21.03	0.001
	6%	0.0002	0.000	0.99	ns
Sector	100%	0.1579	0.4303	30.85	0.001
	64%	0.0052	0.0052	13.48	0.001
	52%	0.0286	0.4444	31.53	0.001
	6%	0.0002	0.0002	2.99	0.001

Cuadro 4b. Parámetros de la distribución beta binominal para el porcentaje de frutos con síntomas de *Xac* en cuadros con diferentes I_p %.
Frutos agregados en plantas o sectores.

Limón	Plantas c/síntomas	Incidencia en frutos			$C\alpha$ $p <$
		ρ	θ	$I\beta$	
Planta	100%	0.0075	0.022	3.12	0.001
	82%	0.0360	0.088	9.15	0.001
	47%	0.0049	0.035	4.39	0.001
	13%	0.0008	0.002	1.15	0.137
	5%	0.0013	0.008	1.81	0.001
	4%	0.0006	0.014	2.39	0.001
Sector	100%	0.0067	0.0760	8.01	0.001
	82%	0.0341	0.2435	20.45	0.001
	47%	0.0044	0.0779	8.18	0.001
	13%	0.0005	0.0277	3.21	0.001
	5%	0.0009	0.0277	3.68	0.001
	4%	0.0005	0.0532	6.01	0.001

Cuadro 4c. Parámetros de la distribución beta binominal para el porcentaje de frutos con síntomas de *Xac* en cuadros con diferentes I_p %.
Frutos agregados en plantas o sectores.

Valencia	Plantas c/síntomas	Incidencia en frutos			$C\alpha$ $p <$
		ρ	θ	$I\beta$	
Planta	100%	0.0001	0.021	3.00	0.001
	73%	0.0003	0.032	4.12	0.001
	66%	0.0012	0.069	7.39	0.001
	45%	0.0001	0.016	2.59	0.001
	17%	0.0001	0.024	3.33	0.001
Sector	100%	0.0001	0.0000	1.00	ns
	73%	0.0005	0.0036	1.37	0.001
	66%	0.0014	0.0206	3.02	0.001
	45%	0.0002	0.0000	0.99	ns
	17%	0.0002	0.0000	0.99	ns

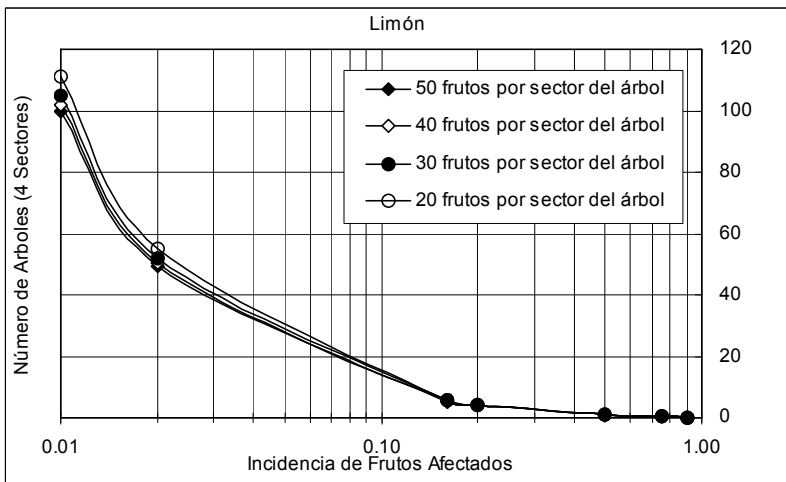
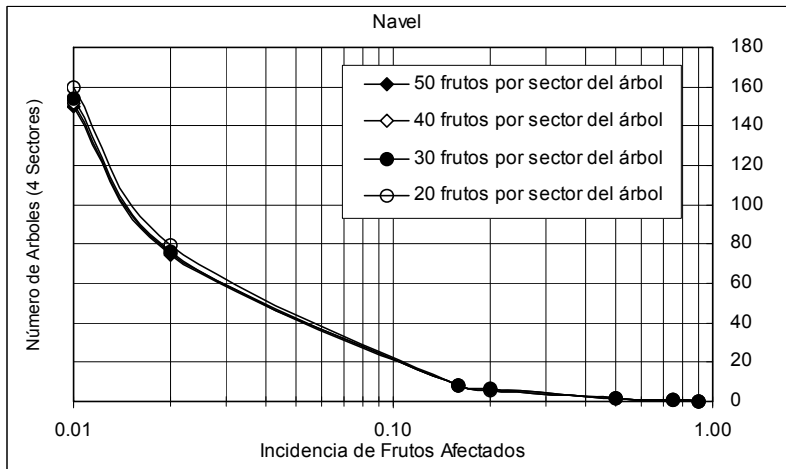
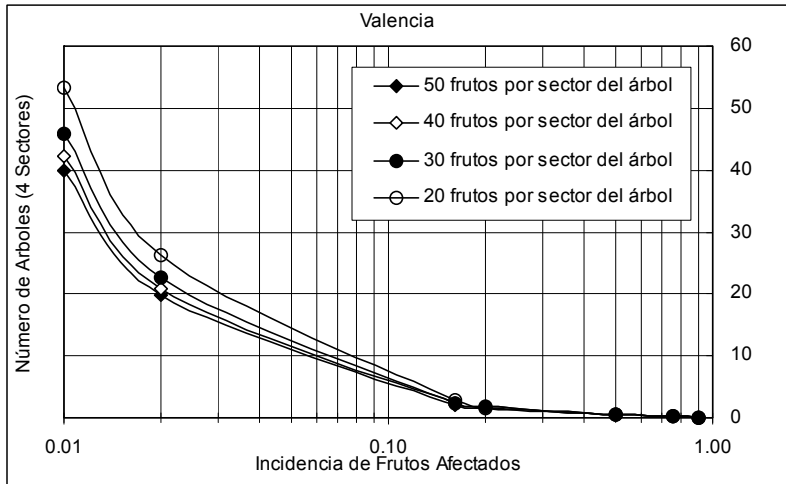


Figura 7. Número de árboles a ser observados para detectar el mínimo de incidencia de frutos afectados. 4 sectores por árbol. Intervalo de confianza 95%. Precisión 20%.

de poder estimar $I_p\%$. Cuando el tamaño de los grupos de plantas es mayor (4 ó 9) la agregación por plantas se incrementa, o que hace más difícil la detección; o dicho de otra forma, se requieren más plantas evaluadas para tener la misma precisión de estimación.

Por otro lado, los grupos (agregados) de plantas afectadas no difieren de un padrón de distribución al azar en el terreno, como se muestra por el índice de autocorrelación de Morán (I) y por la relación de la semivarianza $\gamma(h)$ con la distancia (espacios) entre plantas, esto nos afirma que el diseño de muestreo para estimar ($I_p\%$) con

cuatro plantas en un cuadrante de 2x2 se obtienen muy buenos resultados.

Los frutos afectados ($I_f\%$) se encuentran más agregados entre los sectores del árbol, que entre el conjunto de plantas afectadas. En todos los escenarios evaluados (variedad x $I_p\%$), el índice de dispersión ($I\alpha$) de la $I_f\%$ entre el total de plantas es menor que el índice de dispersión ($I\beta$) de la $I_f\%$ en los cuatro sectores de árbol. Al evaluar la incidencia de frutos afectados ($I_f\%$) no se encontró para ninguno de los casos evaluados una relación consistente entre la $I_p\%$ y la $I_f\%$ dentro de cada cuadro de produc-

Cuadro 5. Número de grupos de árboles (2x2 árboles/cuadrante) a ser observados para estimar la incidencia mínima detectable de árboles afectados en cuadros comerciales de cítricos. Precisión 20% de la media.

Incidencia Mínima Detectable de Árboles Afectados por Cuadro de Producción			Número de Grupos por Cuadro	Número de Árboles por Grupo
I planta %	Inferior	Superior		
Navel				
0,5%	0,4%	0,6%	239	956
1%	0,8%	1,2%	119	476
5%	4%	6%	23	91
10%	8%	12%	15	60
25%	20%	30%	8	32
50%	40%	60%	3	12
75%	60%	90%	2	8
Limon				
0,5%	0,4%	0,6%	347	1387
1%	0,8%	1,2%	172	690
5%	4%	6%	28	114
10%	8%	12%	16	65
25%	20%	30%	4	15
50%	40%	60%	3	12
75%	60%	90%	2	8
Valencia				
0,5%	0,4%	0,6%	298	1192
1%	0,8%	1,2%	152	608
5%	4%	6%	31	122
10%	8%	12%	14	58
25%	20%	30%	6	23
50%	40%	60%	3	12
75%	60%	90%	2	8
Clementina				
0,5%	0,4%	0,6%	347	1387
1%	0,8%	1,2%	172	690
5%	4%	6%	33	132
10%	8%	12%	15	61
25%	20%	30%	6	25
50%	40%	60%	3	12
75%	60%	90%	2	8

ción. Se evidenció una tendencia de que a mayor número de sectores afectados por árbol (de 0 a 4) mayor es la incidencia de frutos afectados (If %) en el árbol.

Si bien se encontraron diferencias significativas en If % respecto a la orientación de los sectores del árbol, no se confirmó estadísticamente una dirección cardinal pre-

dominante, aunque si una tendencia los sectores orientados al SE y SO.

Se determinó el número mínimo de frutos a observar por sector (cuadrante) del árbol y el número mínimo de plantas a muestrear, para cada nivel de incidencia (If %) que se quiera detectar con una precisión y dentro de un intervalo preestablecido (Figuras 5 y 6; Cuadros 5 y 6).

Cuadro 6. Número de árboles a ser observados para estimar la incidencia mínima detectable de frutos afectados en cuadros comerciales de cítricos. Precisión 20% de la media. 50 frutos por sector del árbol. 4 sectores por árbol.

Incidencia Mínima Detectable de Frutos Afectados por Cuadro de Producción			Número de Árboles por Cuadro	Número de Frutos por Cuadro
I fruto %	Inferior	Superior		
Navel				50 frutos por sector 4 sectores por árbol
0,5%	0,4%	0,6%	301	60143
1%	0,8%	1,2%	150	30057
5%	4%	6%	29	5768
10%	8%	12%	14	2732
25%	20%	30%	5	911
50%	40%	60%	2	304
75%	60%	90%	1	101
Limon				
0,5%	0,4%	0,6%	200	40073
1%	0,8%	1,2%	100	19936
5%	4%	6%	19	3826
10%	8%	12%	9	1812
25%	20%	30%	3	604
50%	40%	60%	1	201
75%	60%	90%	0,3	67
Valencia				
0,5%	0,4%	0,6%	80	16075
1%	0,8%	1,2%	40	7997
5%	4%	6%	8	1535
10%	8%	12%	4	727
25%	20%	30%	1	242
50%	40%	60%	0,4	81
75%	60%	90%	0,1	27

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Convenio en Sanidad Citrícola MGAP/DGSA-INIA-Facultad de Agronomía por el financiamiento de este trabajo.

Al Tec. Agr. Wuillan Techeira (DGSA-MGAP) por su continuo apoyo en las tareas operativas en Salto.

Al grupo de inspectores y personal de campo de la DGSA-MGAP (oficina de Salto) por su meticulosa observación de campo sin la cual no se hubiera logrado la precisión buscada.

A la Ing. Agr. Nora Altier (PhD), a la Ing. Agr. Inés Ares, al Ing. Agr. Diego Maeso (MSc), y al Ing. Agr. Alvaro Roel (PhD) por sus valiosos aportes en revisión del texto y sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMPBELL, C.L. y MADDEN, L.V.** 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. Wiley Intersciences. New York.
- CHELLEMI, D.O.; ROHRBACH, K.G.; YOST, R.S. y SONODA, R.M.** 1988. Analysis of the spatial patten of plant pathogens and diseased plants using geostatistics. *Phytopathology*. 78:221-226.
- CRESSIE, N.** 1985. Fitting variogram models by weighted least squares. *Math Geol*. 17:563-586.
- FAO.** 2007a. [International Standards for Phytosanitary Measures, Publication No. 2. Framework for Pest Risk Analysis.]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO.** 2007b. [International Standards for Phytosanitary Measures, Publication No. 5. Glosary of Phytosanitary Terms.]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FRENADES, N.G.; BARBOSA, J.C.; AYRES, A.J. y MASSARI, C.A.** 2000. Plantas doentes nao detectadas nas inspecoes difficultam e erradicacao de Cancro Citrico. *Summa Phytopathologica* 26:1-6.
- HUGHES, G.** 1999. Sampling for Decision Making in Crop Loss Assessment and Pest Management: Introduction. *Phytopathology* 89: 1080-1083.
- HUGHES, G. y MADDEN, L.V.** 1993. Using he beta-binomial distribution to describe aggregated patterns of disease incidence. *Phytopathology* 83:759-763.
- MADDEN, L.V. y HUGHES, G.** 1994. BBD Computer software for fitting the beta-binomial distribution to disease incidence data . *Plant Disease* 78, 536 40.
- MADDEN, L.V. y HUGHES, G.** 1995. Plant Disease Incidence: Distributions, Heterogeneity, and Temporal Analysis. *Annual Review of Phytopathology*. Vol. 33: 529-564.
- MADDEN, L.V.; HUGHES, G. y ELLIS, M.A.** 1995. Spatial Heterogeneity of the Incidence of Grape Downy Mildew. *Phytopathology* 85: 269-275.
- MORAN, P.A.P.** 1950. Notes on continuos stochastic phenomena. *Biometrika* 37:17-23.
- NICOT, P.C.; ROUSE, D.I. y YANDELL, B.S.** 1984. Comparison of Statistical Methods for Studying Spatial Patterns of Soilborne Plant Pathogens in the Field. *Phytopathology* 74:1399-1402.
- GOTTWALD, T.R.; MCGUIRE, R.G. y GARRÁN, S.** 1988. Asiatic citrus canker: Spatial and temporal spread in simulated new planting situations in Argentina. *Phytopathology* 78:739-745.
- GOTTWALD, T.R.; TIMMER, L.W. y MCGUIRE, R.G.** 1989. Analysis of disease progress of citrus canker in nurseries in Argentina. *Phytopathology* 79:1276-1283.
- GOTTWALD, T.R.; GRAHAM, J.H. y EGEL, D.S.** 1992. Analysis of foci of Asiatic citrus canker in a Florida citrus orchard. *Plant Disease*. 76:389-396.
- GOTTWALD, T.R.; GIDTTI, F.B.; SANTOS, J.M. y CARVALHO, A.C.** 1993. Preliminary spatial and temporal análisis of Citrus Variegated Clorosis (CVC) in Sao Paulo, Brasil. In: Proceedings 12th Conference IOCV, Riverside. pp 327-335.
- GOTTWALD, T.R.; CAMBRA, M.; MORENO, P.; CAMARASA, E. y PIQUER, J.** 1996. Spatial and temporal analysis of citrus *tristeza* virus in eastern Spain. *Phytopathology* 86:45-55.
- TAYLOR, L.R.** 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature* 189:732-35.
- TAYLOR, L.R.** 1984. Assessing and interpreting the spatial distribution of insect population. *Ann. Rev. Entomol.* 29:321-357.
- VAN MAANEN, A. y XU, X.M.** 2003. Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology* 109: 669-682.