

**PROGRAMA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO Y LA
CONSERVACIÓN
ESCUELA DE POSGRADO**

**Protocolo de muestreo secuencial para la evaluación de la población
de plagas en la producción de
*Dracaena marginata***

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agricultura Ecológica

Por

Carlos von Marschall Murillo

Turrialba, Costa Rica, 2007

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por el Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación y la Escuela de Posgrado del CATIE, y aprobada por el Comité Consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

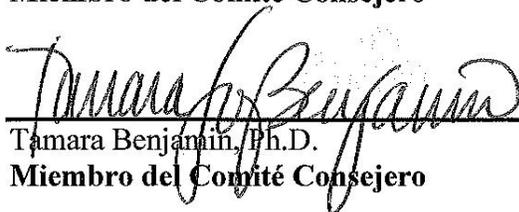
***Magister Scientiae* en Agricultura Ecológica**

FIRMANTES:



Fernando Casanoves, Ph.D.
Consejero Principal

Julio Di Rienzo, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



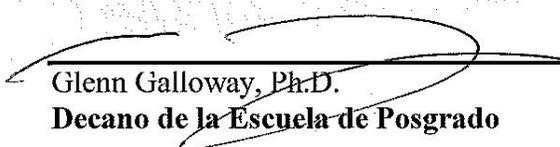
Tamara Benjamín, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



Clifford Sadof, Ph.D.
Miembro del Comité Consejero



Eduardo Hidalgo, M.Sc.
Miembro del Comité Consejero



Glenn Galloway, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



Carlos von Marschall, Bach.
Candidato

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente a mi madre Yadira Enith Murillo Chavarría, a mi padrastro Alfredo Suárez Madrigal, a mi hermana Dayana von Marschall Murillo y a mi padre Julio Antonio von Marschall Jiménez.

También dedico esta investigación al Dr. Fernando Casanoves por haber hecho posible la realización de la misma, ya que con personas como él es posible realizar cualquier desafío por más difícil que sea.

Por último pero no menos importante les dedico todo el esfuerzo realizado en esta investigación a las memorias de mi hermana Nancy Pamela von Marschall Murillo y de mi abuelo Julio Frhr. von Marschall Ahrens.



AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Fernando Casanoves por ser además de un excelente asesor un buen maestro, por su dedicación, orientación, confianza, y paciencia que hizo posible la culminación de este trabajo.

A la Dra. Tamara Benjamin y a los señores M.Sc. Julio Di Rienzo, Dr. Clifford Sadof y M.Sc. Eduardo Hidalgo por sus orientaciones a lo largo de este tiempo.

A los señores Edwin A. Portugués y Alexis Pérez por su colaboración y esfuerzo en la fase de campo.

Al Proyecto Dracaena por esta investigación y por darme la oportunidad de trabajar en este proyecto.

Al señor M.Sc. Jorge Vargas por toda la ayuda brindada en este trabajo.

A las personas que me ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta investigación especialmente Fanny Sánchez, Armando Vargas, Dinier Arias, Mariangie Ramos, Jorge E. Valverde, Jorge A. Ramírez, Marco Cambroner y a todos los productores de *Dracaena marginata* que me dieron la mano en la fase de campo.

A todos mis amigos y compañeros por todo su apoyo, todas las experiencias compartidas durante este tiempo y por ser uno de los soportes para seguir adelante.

Al Programa de Reversión Productiva del Consejo Nacional de Producción (CNP) por el apoyo financiero.

BIOGRAFÍA

El autor nació en Turrialba, Costa Rica el 13 de octubre de 1982. Se graduó en la Universidad de Costa Rica (UCR) en el año 2006 como Bachiller en Estadística de la Facultad de Ciencias Económicas. Trabajó en la Unidad de Servicios Estadísticos (USES) de la UCR, en el Sistema de Estudios de Posgrado (SEP) de la misma universidad. Colaboró con la Federación de municipalidades de la provincia de Heredia y con la Superintendencia de Pensiones de Costa Rica (SuPen). Finalmente, formo parte del programa *Clean Stock Program* del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y trabajó en el departamento de Biometría del mismo centro de investigación.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	XII
SUMMARY.....	XIII
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XVIII
1 INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 Justificación.....	21
1.2 Objetivos.....	22
1.2.1 Objetivo general.....	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
1.3 Hipótesis.....	23
2 MARCO CONCEPTUAL.....	24
2.1 El cultivo de <i>Dracaena marginata</i> en Costa Rica.....	24
2.2 Plagas de <i>Dracaena marginata</i>	25
2.2.1 Escamas.....	25
2.2.2 Cicadélidos.....	26
2.2.3 Tetigónidos.....	27
2.2.4 Moluscos.....	28
2.3 Distribución espacial de insectos.....	29
2.3.1 Distribución Uniforme.....	31
2.3.2 Distribución Poisson.....	31
2.3.3 Distribución Bernoulli.....	32
2.3.4 Distribución Binomial.....	32
2.3.5 Distribución Binomial Negativa.....	32
2.3.6 Distribución Beta Binomial.....	33
2.4 Muestreo.....	33

2.4.1	Muestreo secuencial o muestreo de secuencias	35
2.4.1.1	Plan de Iwao.....	36
2.4.1.2	Plan de Green	36
2.4.1.3	Plan de Kuno.....	37
2.4.1.4	Plan de Wald.....	37
2.4.2	Umbral de decisión	38
2.5	Bibliografía	39
3	ARTÍCULO 1: Evaluación de factores en trampas pegajosas para captura de cicadélidos.....	44
3.1	Introducción.....	44
3.2	Materiales y métodos.....	45
3.2.1	Área de estudio	45
3.2.2	Variedades de estudio de <i>Dracaena marginata</i>	46
3.2.3	Evaluación de factores en trampas pegajosas	46
3.2.4	Colocación de las trampas pegajosas.....	47
3.2.4.1	Alternativas de trampas pegajosas	47
3.2.4.2	Colores de trampas pegajosas	48
3.2.4.3	Gama de colores de trampas pegajosas.....	49
3.2.4.4	Altura y orientación de trampas pegajosas	50
3.2.5	Conteo de insectos capturados.....	51
3.2.6	Biodiversidad de cicadélidos	51
3.2.6.1	Índice de Shannon y Weaver	52
3.2.6.2	Índice de Simpson.....	52
3.3	Resultados.....	53
3.3.1	Alternativas de trampas pegajosas.....	53
3.3.2	Colores en trampas pegajosas	54
3.3.3	Gama de colores amarillo para la fabricación de trampas pegajosas	56
3.3.4	Orientación de trampas pegajosas.....	58
3.4	Discusión	59
3.5	Conclusiones.....	62
3.6	Recomendaciones	62
3.7	Bibliografía	63
4	ARTÍCULO 2: Aproximaciones de cálculo de muestreo secuencial	67

4.1	Introducción	67
4.2	Materiales y métodos	68
4.2.1	RVSP	68
4.2.2	SeqSam	69
4.2.3	Comparación de programas	69
4.2.4	Simulación de datos	69
4.3	Resultados	70
4.3.1	RVSP	70
4.3.2	SeqSam	71
4.4	Discusión	75
4.5	Conclusiones	76
4.6	Recomendaciones	77
4.7	Bibliografía	77
5	ARTÍCULO 3: Densidades de poblaciones plaga en lotes de producción	
	de <i>D. marginata</i> y empacadoras	82
5.1	Introducción	82
5.2	Materiales y métodos	83
5.2.1	Área de estudio	83
5.2.2	Variedades de estudio de <i>Dracaena marginata</i>	84
5.2.3	Trabajo en campo.....	84
5.2.4	Trabajo en empacadora.....	85
5.2.5	Asociación de las evaluaciones en campo e inspecciones en empacadora.....	86
5.2.5.1	Correlación de Pearson	86
5.2.5.2	Tablas de contingencia.....	86
5.2.6	Análisis de correspondencia	87
5.3	Resultados	87
5.3.1	Trampas pegajosas en lotes de producción.....	88
5.3.2	Observación visual en lotes de producción.....	92
5.3.2.1	Masas de huevos de cicadélidos.....	92
5.3.2.2	Ninfas de cicadélidos	93
5.3.2.3	Escamas, moluscos y masas de huevos de tetigónidos	94
5.3.3	Asociación entre poblaciones plaga en campo	94
5.3.4	Relación campo con empacadora	96

5.3.4.1	Cicadélidos.....	96
5.3.4.2	Escamas.....	97
5.3.4.3	Tetigónidos.....	97
5.3.4.4	Moluscos	98
5.4	Discusión	98
5.4.1	Poblaciones plaga en campo	98
5.4.2	Asociación campo y empacadora	100
5.4.3	Instrumentos de evaluación	101
5.5	Conclusiones	102
5.6	Recomendaciones	102
5.7	Bibliografía	103
6	ARTÍCULO 4: Plan de muestreo secuencial para evaluar el material de exportación de plantas ornamentales de <i>D. marginata</i> para el mercado estadounidense.....	107
6.1	Introducción.....	107
6.2	Materiales y métodos.....	108
6.2.1	Área de estudio	108
6.2.2	Variedades de estudio de <i>Dracaena marginata</i>	109
6.2.3	Distribución espacial y tamaño de muestra	110
6.2.3.1	Patrón espacial y variabilidad	110
6.2.3.2	Estimación de tamaño mínimo de muestra	111
6.2.4	Densidad crítica de plagas	111
6.2.4.1	Densidad crítica en campo	111
6.2.4.2	Densidad crítica en empacadora	112
6.2.5	Curvas de decisión.....	113
6.3	Resultados	114
6.3.1	Distribución espacial de plagas.....	114
6.3.2	Tamaño mínimo de muestra	115
6.3.3	Densidad crítica	116
6.3.3.1	Densidad crítica para poblaciones plaga en campo	116
6.3.3.2	Densidad crítica para poblaciones plaga en empacadora.....	117
6.3.3.2.1	Densidad crítica para tips a exportar como unidad muestral	117
6.3.3.2.2	Densidad crítica para cajas con tips de exportación como unidad muestral	118

6.3.4	Curvas de decisión.....	119
6.3.4.1	Evaluación de poblaciones plaga en campo de producción.....	119
6.3.4.1.1	Evaluación de población de escamas en el campo de producción...	119
6.3.4.1.2	Evaluación de masas de huevos de tetigónidos en el campo de producción	120
6.3.4.1.3	Evaluación de la población de moluscos en el campo de producción.....	121
6.3.4.1.4	Evaluación de la población de cicadélidos en el campo de producción.....	122
6.3.4.2	Empacadora.....	124
6.3.4.2.1	Curvas de decisión para tips a exportar como unidad muestral	125
6.3.4.2.2	Curvas de decisión para cajas con tips de exportación como unidad muestral	127
6.4	Discusión	129
6.4.1	Distribución espacial.....	130
6.4.2	Densidad crítica	132
6.4.3	Planes de muestreo secuencial para evaluación de cicadélidos con trampas pegajosas	132
6.5	Conclusiones	134
6.6	Recomendaciones	134
6.7	Bibliografía	135
7	Conclusiones generales.....	156
8	APÉNDICE 1: Recomendaciones dirigidas a productores, inspectores, exportadores y técnicos en el campo de producción de <i>Dracaena marginata</i>	159
8.1	Productores	159
8.2	Inspectores	160
8.3	Exportadores	160
8.4	Técnicos	161
9	APÉNDICE 2: Muestro secuencial para la evaluación de poblaciones plaga..... en producciones de <i>Dracaena marginata</i>	163
9.1	Campo de producción	164
9.1.1	Población plaga escamas	164
9.1.2	Población plaga tetigónidos (masas de huevos)	165
9.1.3	Población plaga moluscos.....	167
9.1.4	Población plaga cicadélidos.....	168

9.1.4.1	Masas de huevos	168
9.1.4.2	Captura de cicadélidos con trampas pegajosas	170
9.1.4.2.1	La elaboración de las trampas	170
9.1.4.2.2	Plan de muestreo secuencial	171
9.2	Zona de embalaje	172
9.2.1	Por número de tips de Dracaena marginata por cada productor y presentación.....	172
9.2.2	Por número de cajas con tips de Dracaena marginata por cada productor y presentación	176

RESUMEN

Las intercepciones en los puertos de Estados Unidos por plagas cuarentenarias en embarques de *Dracaena* sp. y las regulaciones de mercado establecidas por la Organización Mundial de Comercio (OMC), están generando pérdidas económicas a los productores de plantas ornamentales. Costa Rica, mediante el Programa de Material Propagativo Sano (*Clean Stock Program*) busca identificar y controlar las plagas cuarentenarias que ocasionan estas intercepciones. A su vez, busca establecer diferentes planes para la formulación de reglas de decisión en el manejo del cultivo de exportación en pro de disminuir el número de intercepciones. Por esta razón el objetivo de este estudio fue elaborar un plan de muestreo secuencial para evaluar el material de exportación de plantas ornamentales de *Dracaena marginata* var. verde, magenta y bicolor para el mercado estadounidense. Esto en base a un control de calidad de las unidades a exportar con respecto a la infección de escamas, moluscos, tetigónidos y cicadélidos.

Los resultados mostraron que las plagas cuarentenarias escamas, moluscos, tetigónidos y cicadélidos tienen una distribución agregada en los lotes de producción de *D. marginata* en las zonas Norte y del Caribe de Costa Rica y el muestreo sistemático con una grilla de 10×10 m es útil para detectar estos patrones de agregación en el campo. Se encontró que el grado de infestación de las plagas cuarentenarias en campo varía en las dos zonas de investigación y entre las variedades de producción dentro de las zonas.

Se encontró relación de la población plaga cicadélidos en los campos de producción con respecto a las zonas de embalaje de las macollas (*tips*) de exportación de *D. marginata*. Así, se establecieron diferentes planes de muestreo secuencial con distintas densidades críticas (*dc*) para el control de esta plaga en campo y para la inspección de *tips* con plagas cuarentenarias (escamas, moluscos, tetigónidos y cicadélidos) en empacadoras. Estos planes de muestreo son una herramienta útil para productores, inspectores y exportadores en cuanto a la reducción de intercepciones en los puertos de los mercados de exportación se refiere.

Palabras claves: *tips*, cicadélidos, tetigónidos, escamas, moluscos, muestreo sistemático, distribución espacial, densidad crítica.

SUMMARY

Interceptions due to quarantine pests in shipments of *Dracaena* sp. to United States ports, and market regulations set by the World Trade Organization (WTO) are generating economic losses to ornamental plant producers. Costa Rica, through the Clean Stock Program seeks to identify and monitor quarantine pests that are causing its shipments to be intercepted. In addition, it is setting different plans for the development of decision-making tools for the handling of export crops in order to reduce interceptions.

For this reason, the objective of this study was to develop a sampling plan that would evaluate export material on ornamental plants of *Dracaena marginata* var. green, magenta and bicolor for the American market. This based on quality control of the units to be exported in regards to the infection of scales, snails, katydids and leafhoppers.

The results show that the quarantine pest scales, molluscs, katydids and leafhoppers have an aggregate distribution in the production lots of *D. marginata* in the Northern and Caribbean areas of Costa Rica, and a systematic sampling with a 10 × 10 m grid is useful to detect these patterns of aggregation in the field. It was found that the degree of infestation of quarantine pests in the field varies among the two areas of research and between production varieties.

The ratio of leafhopper populations in production fields in relation to the packaging areas of *D. marginata tips* was determined. Thus, various sequential sampling plans were determined with different critical densities to control these pests in the field and for the inspection of *tips* with quarantine pests (scales, snails, katydids and leafhoppers) in the packing areas. These sampling plans are a useful tool for producers, exporters, and inspectors in terms of reducing the number of interceptions at ports of the export market interests.

Keywords: *tips*, leafhopper, katydids, scales, snails, systematic sampling, spatial distribution, critical density.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedios de cicadélidos capturados en lotes de producción de <i>Dracaena marginata</i>	53
Cuadro 2. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap ..	53
Cuadro 3. Promedios y porcentajes de captura de cicadélidos críticos en alternativas de trampas pegajosas.....	54
Cuadro 4. Promedios de cicadélidos capturados en lotes de producción de <i>Dracaena marginata</i>	54
Cuadro 5. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap ..	56
Cuadro 6. Promedios y porcentajes de captura de cicadélidos críticos en colores de trampas pegajosas	56
Cuadro 7. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap para la gama de tonos de color amarillo.....	57
Cuadro 8. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap para los efectos de los factores altura y posición de la trampa acetato con tono amarillo intenso	59
Cuadro 9. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con media poblacional (A) 0,48; (B) 0,55 y (C) 0,60.....	74
Cuadro 10. Distribución de lotes de <i>Dracaena marginata</i> por variedad en las zonas de estudio	109
Cuadro 11. Ajustes de los conteos de plagas cuarentenarias a distribuciones teóricas estadísticas.....	115
Cuadro 12. Tamaño mínimo de muestra de plagas cuarentenarias asociadas a <i>Dracaena marginata</i>	116
Cuadro 13. Densidades críticas para poblaciones plaga en campos de producción de <i>Dracaena marginata</i>	117
Cuadro 14. Densidades críticas para distintos tamaños de muestra	117
Cuadro 15. Probabilidad de detección de cajas infestadas para distintos valores de densidad crítica y cajas inspeccionadas.....	118
Cuadro 16. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de escamas en los lotes de producción.....	120
Cuadro 17. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de masas de huevos de tetigónidos en los lotes de producción.....	121
Cuadro 18. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de moluscos en los lotes de producción.....	122

Cuadro 19. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de masas de huevos de cicadélidos en los lotes de producción	123
Cuadro 20. Conteos críticos para evaluación de escamas en tips de <i>Dracaena marginata</i> para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo).....	165
Cuadro 21. Conteos críticos para evaluación de masas de huevos de tetigónidos en tips de <i>Dracaena marginata</i> para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo).....	166
Cuadro 22. Conteos críticos para evaluación de moluscos en tips de <i>Dracaena marginata</i> para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo).....	168
Cuadro 23. Conteos críticos para evaluación de masas de huevos de cicadélidos en tips de <i>Dracaena marginata</i> para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo).....	169
Cuadro 24. Conteos críticos para la captura de cicadélidos con trampas pegajosas en distintos tamaños de muestra (número de trampas).....	172
Cuadro 25. Conteos críticos para inspección de unidades de exportación con distintos tamaños de muestra (conjuntos de tips).....	175
Cuadro 26. Conteos críticos para inspección de cajas con unidades de exportación con distintos tamaños de muestra (número de cajas).....	177

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Dracaena marginata</i> variedades verde (A), bicolor (B) y magenta (C).....	25
Figura 2. Coccoidea en <i>Dracaena marginata</i> ³	26
Figura 3. Cicadélido adulto (A), ninfa (B) y masa de huevos (C) en <i>Dracaena marginata</i> . ³	26
Figura 4. Adulto (A) y masa de huevos (B) de Tetigónidos en <i>Dracaena marginata</i> . ³	28
Figura 5. Moluscos en <i>Dracaena marginata</i> . ³	28
Figura 6. Ubicación de la zona de estudio en el Caribe costarricense.....	46
Figura 7. Posición de trampas pegajosas en sistemas de producción de <i>Dracaena marginata</i> (A) paralelo, (B) perpendicular y (C) forma de cruz.	50
Figura 8. Promedios de cicadélidos capturados por las trampas pegajosas en variedades de <i>Dracaena marginata</i>	55
Figura 9. Promedios de cicadélidos género <i>Empoasca</i> sp. capturados en tonos amarillos.....	58
Figura 10. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial por RVSP para una distribución Binomial (m, n).....	71
Figura 11. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial por SeqSam para una distribución Binomial (m, n).	72
Figura 12. Curvas de potencia de plan de muestreo secuencial con media poblacional (A) 0,48; (B) 0,55 y (C) 0,60.	73
Figura 13. Ubicación de las zonas de estudio en el Caribe (Guápiles y Roxana) y la Región Huetar Norte (La Tigra y Bajo Rodríguez) costarricense.	83
Figura 14. Promedio de insectos capturados por alturas de trampas pegajosas en variedades de <i>Dracaena marginata</i>	88
Figura 15. Promedio de cicadélidos capturados por alturas de trampas pegajosas en variedades de <i>Dracaena marginata</i>	89
Figura 16. Promedio del total de cicadélidos claves capturados por alturas de trampas pegajosas en variedades de <i>Dracaena marginata</i>	90
Figura 17. Promedio de cicadélidos claves capturados por alturas de trampas pegajosas en producciones de <i>Dracaena marginata</i>	91
Figura 18. Promedio de cicadélidos claves capturados por variedades de <i>Dracaena marginata</i> (A) <i>Caldwelliola</i> sp., (B) <i>Oncometopia</i> sp. y (C) <i>Empoasca</i> sp.....	92
Figura 19. Promedio de masas de huevos totales de cicadélidos en variedades de <i>Dracaena marginata</i>	93
Figura 20. Promedio de ninfas totales de cicadélidos en variedades de <i>Dracaena marginata</i> . .	94
Figura 21. Biplot obtenido mediante análisis de correspondencias múltiples para asociación entre categorías de cicadélidos en campo y empacadora.....	97

Figura 22. Ubicación de las zonas de estudio en el Caribe (Guápiles y Roxana) y región Huétar Norte (La Tigra de San Carlos) costarricense.	108
Figura 23. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial para la captura de cicadélidos en trampas pegajosas con una distribución Poisson (λ).	124
Figura 24. Curva de potencia de plan de muestreo secuencial para la captura de cicadélidos en trampas pegajosas.	124
Figura 25. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,05; (B) 0,04; (C) 0,03; (D) 0,02 y (E) 0,01 con una distribución Binomial (m, n).	126
Figura 26. Curvas de potencia de planes de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,05; (B) 0,04; (C) 0,03; (D) 0,02 y (E) 0,01 con media de conteos poblacional 0,0412.	127
Figura 27. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,001 (B) 0,0001 con media de conteos poblacional 0,0412 con una distribución Binomial (m, n).	128
Figura 28. Curvas de potencia de planes de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,001; (B) 0,0001 con media de conteos poblacional 0,0412.	129
Figura 29. Cuadrícula de 10 x 10 m en lote de producción de <i>Dracaena marginata</i> para obtener puntos de observación de poblaciones plaga.	163
Figura 30. Elaboración de trampas pegajosas (A) láminas pintadas, (B) láminas recortadas y (C) lámina colocada en campo de producción.	170
Figura 31. Elaboración de trampas pegajosas (A) sustancia pegajosa, (B) lámina cubierta con sustancia pegajosa.	170
Figura 32. Ejemplo de colocación de trampas pegajosas en lotes de producción de <i>Dracaena marginata</i>	171
Figura 33. Selección de muestra para inspección (A) selección al azar de los tips, (B) muestra a inspeccionar, (C) revisión del follaje de los tips de la muestra y (D) registro de unidades infestadas por plagas cuarentenarias.	173

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

CAFTA	Tratado de Libre Comercio Centroamérica, Estados Unidos y el Caribe (siglas en inglés)
CSP	<i>Clean Stock Program</i>
EE	Error estándar
<i>dc</i>	Densidad crítica
LRI	Límites de la región de incertidumbre
MA	Muestreo aleatorio
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MIP	Manejo integrado de plagas
MS	Muestreo sistemático
NMM	Número mínimo de unidades muestrales
OMC	Organización Mundial de Comercio
PROCOMER	Promotora del Comercio Exterior de Costa Rica
RVSP	Remuestreo para análisis y validación de planes de muestreo enumerativos y binomiales (siglas en inglés)
SeqSam	Software para gestión de plan de muestreo Secuencial

1 INTRODUCCIÓN

La actividad económica de exportación en Costa Rica ha evolucionado a un modelo no tradicional en el cual se incluyen las plantas ornamentales de follaje. Bajo este modelo se ha obtenido un aumento en los ingresos en exportaciones en el período de diez años de 1995 al 2005 comparado con años anteriores (PROCOMER¹ 2005). Esto ha generado una expansión considerable en el área cultivada de plantas ornamentales en Costa Rica hasta alcanzar, en el año 2000, las 4.000 ha. Esta actividad representaba para el país, en los años ochenta, la entrada de más de US\$ 16 millones (Ramírez 1988) y hoy en día se generan más de US\$ 150 millones (Salas et ál. 1991).

Costa Rica es un país altamente dependiente del comercio y la producción. A su vez, este país ha adquirido un exitoso y activo progreso de apertura de recursos hacia la continuidad de la integración en la economía mundial con medios para crear oportunidades de desarrollo y crecimiento. Esta oportunidad se ve incrementada con la exportación de plantas ornamentales de follaje. El comercio de plantas ornamentales presenta en la actualidad una importante fuente de entrada de divisas como así también es generadora de empleos. Estos cultivos han adquirido mucha importancia producto de grandes posibilidades de mercado a nivel internacional generando grandes ganancias en exportación de plantas ornamentales y flores a diferentes países del mundo. Un 56% de las exportaciones de ornamentales van dirigidas al mercado de los Estados Unidos, representando ingresos por más de US\$ 31 millones. Las exportaciones de ornamentales representan el 4% del total de las exportaciones agrícolas del país (PROCOMER 2005).

La producción y comercialización de plantas ornamentales constituye un gran aporte a la economía nacional y, particularmente, a la estabilidad económica familiar. En algunos casos las empresas productoras de ornamentales registran planillas cercanas a los 5 millones de colones anuales (US\$ 10.000). A su vez esta actividad tiene un fuerte enfoque social, debido a que alrededor de diez mil personas son empleadas para realizar tareas en las distintas etapas de la cadena de producción (Gámez y Murillo 2005).

¹ *Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica (PROCOMER).*

Dentro del amplio y variado mundo de las plantas ornamentales, la *Dracaena* sp. (dracaena) ocupa un lugar destacado en cuanto a popularidad, debido a la ornamentación de sus hojas, matizadas de manera diversa, según especies y cultivares. Una especie de ampliamente cultivada en Costa Rica es la *Dracaena marginata*, especie que ha adquirido una gran demanda de exportación principalmente en mercados de Europa y los Estados Unidos. Esta demanda es sostenida por más de 500 medianos y pequeños productores, y la existencia de más de cuarenta empresas exportadoras a los mercados de Estados Unidos, Europa y Japón (CSP² 2005).

El mercado costarricense está comprometido con el seguimiento de una serie de inspecciones y certificaciones para poder exportar plantas ornamentales a los Estados Unidos, esto debido a la actual regulación que restringe la entrada de cortes de dracaenas mayores de dos años o con alturas superiores a las 18 pulgadas (CSP 2005). Estas pautas son establecidas por las Medidas Sanitarias y Fitosanitarias de los Estados Unidos y la Organización Mundial de Comercio (OMC) para el control de dispersión de plagas.

Con miras al aumento en las exportaciones con la firma del Tratado de Libre Comercio entre los Estados Unidos-Centroamérica y Republica Dominicana (CAFTA, siglas en inglés) el grupo de trabajo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (Costa Rica y los Estados Unidos) planteó el levantamiento de tales regulaciones, lo que incrementará la altura máxima de las cañas de dracaena de exportación, accediendo a plantas de 18 a 54 pulgadas de tallo, siempre y cuando la producción esté acompañada de un análisis de riesgo de plagas y el seguimiento de los diferentes planes de manejo del producto a exportar (CSP 2005).

Los productores de este cultivo tienen como desafío mejorar las condiciones fitosanitarias de la planta, principalmente en el control de insectos plaga, que repercutirá en la disminución del número de intercepciones por plagas cuarentenarias en los puertos de Estados Unidos. Estas intercepciones son las que amenazan con el cierre del mercado si no se disminuye el nivel de plagas en los embarques de exportación (CSP 2005).

² *Clean Stock Program (Proyecto Dracaena).*

En la actualidad los programas de Manejo Integrado de plaga (MIP) tienen entre sus elementos básicos la evaluación de la población de plagas y la toma de decisiones vía estadísticos (Pedigo s.f). Por esto es importante la formulación de reglas para la toma de decisiones de los productores respecto a las opciones de manejo de este cultivo. Para esto es fundamental contar con umbrales de decisión como los provistos por las técnicas de muestreo secuencial. El desarrollo de un plan de muestreo secuencial para la detección de niveles de intercepción en la producción de *Dracaena marginata* es el principal objetivo de esta investigación.

1.1 Justificación

La producción de la planta ornamental *D. marginata* en Costa Rica posee un serie de desventajas causantes de pérdidas. Problemas relacionados con el transporte, precios y formas de pago, la falta de infraestructuras, poca información de mercado, la falta de financiamiento, la exigencia de compradores y la inestabilidad de la demanda (Tomeu 1990). A esto se le adicionan las fuertes medidas fitosanitarias aduaneras que limitan de una u otra forma el mercado de estas plantas ornamentales. Esto da como resultado el empleo de medidas de control o incineración del material interceptado, causando graves pérdidas económicas a los productores, así como la amenaza del cierre del mercado de plantas ornamentales a los Estados Unidos.

Entre el período de 1984 y 2004 fueron reportadas más de 7000 intercepciones en los puertos de Estados Unidos, un promedio de por lo menos 350 al año, por plagas en embarques de dracaena provenientes de Costa Rica, lo que representó un 30% del total de las intercepciones de productos agrícolas costarricenses (Colpetzer 2005). Cada intercepción de material de exportación les implica a los productores costarricenses pérdidas que pueden alcanzar una cantidad de 750 mil *tips* en las cajas de exportación.

Dentro de los embarques de *Dracaena* a los US se han reportado insectos categorizados como plagas de importancia cuarentenaria, entre ellas los cicadélidos y las escamas, produciendo un riesgo fitosanitario para la agricultura de los Estados Unidos (Colpetzer 2005). De ahí la importancia del establecimiento de un Programa de Material Propagativo Sano (*Clean Stock Program*, en inglés) para identificar las plagas en campo y establecer las

prácticas de cultivo que ayudarán a disminuir la presencia de las mismas en el material de exportación.

Dichas prácticas mejorarán la producción costarricense de dracaena en grandes, medianos y pequeños productores, manteniendo fuentes de trabajo en regiones alejadas del Valle Central, de la zona Atlántica y de la zona Norte del país (Tomeu 1990). Así se evitará el cierre de dicho mercado de plantas ornamentales, que repercute en la estabilidad económica y social de muchas familias costarricenses.

Una de las prácticas necesarias para el manejo de las plagas es establecer un criterio de decisión (umbral), bajo un muestreo secuencial, que les permitirá a los productores y personal de empaque conocer si el nivel de plagas en su material de exportación está por debajo de los niveles de detección y no será interceptado, evitando pérdidas económicas como las descritas con anterioridad.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un plan de muestreo secuencial para evaluar la presencia de plagas cuarentenarias el material de exportación de plantas ornamentales de *D. marginata* para el mercado estadounidense.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la influencia de factores como color, altura y orientación en trampas sobre la eficiencia en la captura de insectos cuarentenarios en plantaciones de *D. marginata*.
2. Determinar el tipo de distribución espacial de las plagas cuarentenarias en lotes de producción de *D. marginata*.
3. Establecer la densidad crítica, nivel de infestación a tolerar, de las plagas cuarentenarias en la producción de *D. marginata* en campo y empacadora.
4. Elaborar las curvas de decisión para la aplicación de medidas de manejo, basadas en la

abundancia de plagas cuarentenarias en *D. marginata*.

5. Establecer la asociación entre las densidades de huevos de cicadélidos, huevos de tetigónidos, adultos de escamas y moluscos en las empacadoras, con la abundancia de estas plagas en el campo de producción de *D. marginata*.
6. Comparar el comportamiento de distintas aproximaciones para el cálculo de planes de muestreo secuencial.

1.3 Hipótesis

- El color, la altura y la orientación de las trampas afectan la captura de insectos plaga en los sistemas de producción de *D. marginata*.
- La distribución espacial de las plagas cuarentenarias es de tipo agregada en la producción de *D. marginata*.
- La abundancia de las poblaciones plaga disminuye en la zona de embalaje con respecto a la poscosecha; y a la vez, esta disminuye con respecto al campo de producción de *D. marginata*.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 El cultivo de *Dracaena marginata* en Costa Rica

El género *Dracena* sp. pertenece a la familia botánica de las *Agavaceae*, segregada de las *Liliaceae*, donde se incluían antiguamente. Son nativas de las regiones tropicales del planeta. Aunque se conocen alrededor de 150 especies de este género se cree que apenas 20 ó 30 especies son cultivadas con fines ornamentales, principalmente como plantas de interior (Salas et ál. 1991). La especie de interés en este estudio es la *D. marginata*, la cual en Costa Rica es producida en zonas alejadas del área central, por ejemplo en la zona Norte del país y en la zona Atlántica. Esta especie es nativa de Madagascar, con hojas estrechas de punta aguda de color verde oliva fuerte y márgenes rojizos, producto de alteraciones en los fenotipos de *D. marginata* (mutaciones). Sumado a la selección y propagación de estas se pudo obtener diversidad en la variedad de esta especie (Tomeu 1990). En Costa Rica se comercializan las variedades verde, bicolor, tricolor y colorama de *D. marginata*; además de dos variedades las cuales se encuentran en vías de expansión, la kiwi y la magenta (Acuña et ál. 1992).

La variedad verde, es de color verde oliva fuerte y márgenes rojizos. Las plantas comercializadas bajo este nombre probablemente se traten como *Dracaena cincta*. La variedad bicolor es de hojas verdes con amarillo y bandas rojas en los márgenes; y por último la variedad magenta, la cual es de hojas verdes con bandas rojas; pero estas bandas rojas abarcan más espacio que la anterior, no sólo en los márgenes (Figura 1) (Miranda de Larra 1975).

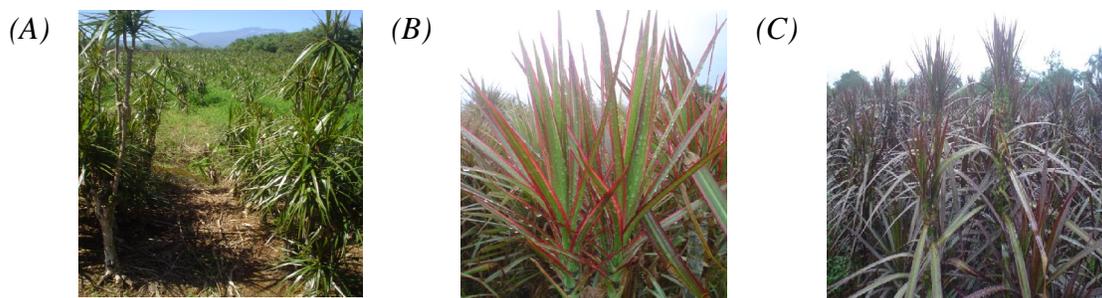


Figura 1. *Dracaena marginata* variedades verde (A), bicolor (B) y magenta (C)³.

2.2 Plagas de *Dracaena marginata*

Los cultivos de *D. marginata* son hospederos de varios insectos, muchos de los cuales son considerados plagas cuarentenarias. Estos últimos poseen restricciones principalmente en las aduanas de los Estados Unidos. En estas aduanas realizan inspecciones del material propagativo de exportación (aproximadamente 2% del total de cajas de un envío de exportación) (Venette et ál. 2002). En estas inspecciones se toma de la decisión de realizar una intercepción cuando en el producto de exportación se observa alguna plaga cuarentenaria en el material exportado. Así, todo el material es tratado con fumigación o es incinerado, provocando pérdidas económicas a los productores nacionales.

2.2.1 Escamas

Las escamas (*Coccoidea*) son insectos que poseen una cubierta dura y cerosa que varía de café claro hasta oscuro casi negro (Foldi 1990). La forma de este insecto varía grandemente dependiendo de la especie, son suaves y generalmente llegan a alcanzar de 3 a 4 mm de largo (Power y Lindquist 1994). La cubierta actúa como escudo para la protección efectiva contra las agresiones físicas y químicas del ambiente (Ross 1964).

La colonización del nuevo huésped es producto del arrastre activo de las ninfas del primer estadio. Uno de los factores que influyen en esta colonización es la edad de la planta,

³ Fuente: Proyecto Clean Stock Program. Facilitado por Eduardo Hidalgo (2006) y Gerardo Pérez (2007).

ya que las escamas se posicionan con mayor frecuencia sobre los árboles jóvenes con menor follaje (Smith et ál. 1997).

Las escamas se adhieren a la superficie de las hojas de *D. marginata* (Figura 2) para la absorción del sustrato vegetal causando decoloraciones café-amarillentas (Acuña et ál. 1992). Estos insectos son una de las principales causas por las que los materiales de exportación son interceptados por alimentarse de muchos de los productos agrícolas importantes (cultivos, árboles, y plantas ornamentales) presentando pérdidas económicas importantes (Miller et ál. 2005).



Figura 2. *Coccoidea* en *Dracaena marginata*³.

2.2.2 Cicadélidos

Estos insectos pertenecen a la familia Cicadellidae (Figura 3) y parte de su importancia se da por ocasionar daños directos al cultivo y por ser vectores de enfermedades causadas por virus y fitoplasma (Davis 1991). Son conocidos como chicharritas o saltahojas, con diversidad de colores, formas alargadas y con longitudes menores a 15 mm (Godoy 2005).



Figura 3. Cicadélido adulto (A), ninfa (B) y masa de huevos (C) en *Dracaena marginata*.³

Los cicadélidos se caracterizan por una gran amplitud ecológica, habitan en diferentes plantas ya sean cultivadas o silvestres y migran de unas a otras sin presentar solapamiento entre sus hábitats (Prado 2006). La distribución de algunas especies de cicadélidos se encuentra determinada por factores ambientales (temperatura y humedad) que aumentan o disminuyen sus poblaciones en determinadas épocas del año (Hidalgo et ál. 1999).

Los cicadélidos son considerados plaga cuarentenaria en la exportación de *tips* de *D. marginata* por actuar como planta hospedera para la oviposición de sus masas de huevos en el follaje (CSP 2005). Esto porque muchos géneros de cicadélidos han sido identificados como vectores de enfermedades como la *Xylella fastidiosa* (Russell et ál 2003, Tipping y Mizel III 2004).

2.2.3 Tetigónidos

También son llamados popularmente saltamontes, por su capacidad de saltar activamente empleando los poderosos músculos de sus patas traseras. Hay veinte mil especies, conocidas principalmente en las regiones tropicales y subtropicales, que se reparten en cinco grandes familias. Ellas son *Gryllacridoidea*, *Tettigonioidae*, *Grylloidea*, *Acridoidea* y *Trydactyloidea* (Davis 1991). La familia *Tettigoniidae* contiene más de 6.800 especies y se distinguen del resto de ortópteros por la longitud de sus antenas, las cuales son más largas que su propio cuerpo y pueden alcanzar una longitud de 2 a 2,5” (Davis 1991).

Las ninfas de tetigónidos son usualmente muy diferentes a los adultos, esto les permite vivir diferentes hábitats y condiciones. Los huevos son depositados en el tejido de la planta o debajo de las vainas de las hojas en grupos de dos a quince, la hembra deposita los huevos en el mesófilo de la hoja, para lo cual abre el margen de la hoja con el ovipositor (Prado 2006). Los huevos pueden eclosionar de 14 a 35 días y tienen de cuatro a nueve estadios ninfales. El ciclo de vida del insecto varía de siete a diez meses (Mau y Martin 1992).

Los tetigónidos son considerados plagas cuarentenarias porque al igual que los cicadélidos utilizan el follaje de los *tips* de *D. marginata* para la oviposición de sus masas de huevos lo que produce restricciones cuarentenarias en las aduanas de los Estados Unidos

(Figura 4). En estas aduanas son considerados plagas cuarentenarias ya que muchas especies son desfoliadores causantes de problemas en pastizales y plantas ornamentales (Nickle 2006).

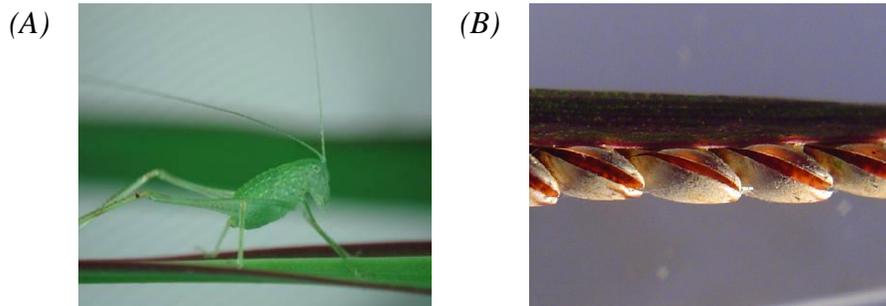


Figura 4. Adulto (A) y masa de huevos (B) de *Tetigónidos* en *Dracaena marginata*.³

2.2.4 *Moluscos*

Estos animales invertebrados presentan en su cabeza cuatro tentáculos, dos oculares que le permiten percibir luz y bultos y dos táctiles. Tienen una concha conispiral, calcárea delgada o ligeramente gruesa (Prado 2006). Esta concha sirve de defensa ante las agresiones del medio ambiente y también actúa como protección contra los depredadores (Barker 2001) (Figura 5).



Figura 5. *Moluscos* en *Dracaena marginata*.³

Aunque la mayoría de su alimento son las plantas y materiales descompuestos, pueden ser carnívoros de otros caracoles. Los moluscos descortezan con su estriada lengua en forma de lima los tejidos de aquella parte de la planta que invaden, originando perforaciones de variada profundidad (Monge 1996). La presencia de este tipo de plaga produce senderos de mucosidad de color plata brillante de rápida desecación y los excrementos pringosos oscuros que dejan sobre la planta atacada (Pape 1976).

Existen varias especies exóticas de los caracoles que se consideran en los Estados Unidos como plagas cuarentenarias. Esto por causantes de daños en diversidad de plantas y porque algunos son considerados amenaza para la salud pública (USDA 2007). Entre los moluscos más identificados como plaga se encuentra las especies *Achatina fulica*, *A. achatina*, *Archachatina marginata*, *Limicolaria aurora* (USDA 2007). Sin embargo se han reportado casos intercepción debido a la presencia de *Veronicellidae* sp. *Succinea costarricana* y *Ovachlamys fulgens* (CSP 2006). Género y especies que a pesar de no ser desfoliadores son difíciles de identificar en los primeros estadios de vida.

2.3 Distribución espacial de insectos

Para la obtención de niveles críticos o estadísticos de decisión se necesita el uso de muestreos periódicos sobre las poblaciones de insectos de interés. Por otra parte para realizar buenas estimaciones sobre las densidades de los insectos y las plagas es imprescindible conocer su distribución espacial. La distribución espacial es un factor que afecta la selección del tipo de muestreo a utilizar (Cuadros 2004). El tipo de distribución espacial presentada por las poblaciones en estudio definirá de una u otra forma el tipo de muestreo a utilizar en la recolección de datos. Lo anterior es un punto crucial de la presente investigación, dado que al aplicar el mismo método de muestreo puede dar resultados muy distintos según que la población tenga una distribución espacial regular (uniforme), al azar o agregada. Si la distribución es al azar o uniforme, el muestreo más apropiado es al azar o al azar estratificado; pero si la distribución es agregada, es necesario determinar los mecanismos de agregación para delinear un muestreo sistemático (Cuadros 2004).

De acuerdo con Vivas et ál. (2001) una de las formas más simples de establecer la distribución espacial de un organismo es a través de la simple comparación de las medias y varianzas de la población de interés. Esto es conocido como la ley de potencia de Taylor (Taylor 1984). Una población se distribuirá al azar, cuando cualquier lugar del espacio tiene la misma probabilidad de ser ocupado por un individuo de la población de estudio, sin que esta ocupación afecte la ubicación de otros individuos pertenecientes a la misma población, y todos los puntos de una plantación tienen la misma probabilidad de ser ocupados por los insectos (Barfield 1989, Cuadros 2004).

Este tipo de distribución se caracteriza porque la media (\bar{X}) obtenida a través de muestreos, es igual a la varianza (S^2) derivada de las diferentes muestras. La distribución espacial será agregada en aquellos casos en los que la presencia de un individuo genera una mayor probabilidad de encontrar en las cercanías otros de la misma población, por lo que la media (\bar{X}) de las muestras tiende consistentemente a ser menor que la varianza (S^2) de las mismas. Por otra parte, se dirá que la distribución es uniforme, cuando los individuos son encontrados siguiendo un patrón regular, de manera que localizar un ejemplar, disminuye la probabilidad de encontrar otro en las cercanías. En este caso la media (\bar{X}) de las muestras es mayor que la varianza (S^2). Estas distribuciones espaciales se ajustan a las distribuciones Poisson, Binomial Negativa y Uniforme, respectivamente (Barfield 1989, Cuadros 2004).

Por ejemplo, Beers y Jones (2004) determinaron el tipo de distribución espacial del cicadélido de manzana blanca (*white apple Leafhopper*) en producciones de manzana en campos ubicados en el estado de Washington. Donde la relación de la media y la varianza de los conteos de ninfas en los lotes de producción presentaron una distribución de tipo agregada. Esto porque la media fue menor que la varianza obtenida por los datos de muestreo.

Por otro lado, Lessio y Alma (2006) encontraron por medio de la ley de potencia de Taylor el tipo de distribución espacial de las ninfas de *Scaphoideus titanus* en viñeros orgánicos ubicados en Piedmont al norte de Italia. El análisis de los conteos de estas ninfas presentó un tipo de distribución de modo agregado por la relación de la media de los datos con respecto a la varianza de los mismos.

Bajo un modelo normal clásico la varianza es independiente de la media y podría calcularse a partir de cualquier muestra piloto. Sin embargo se conoce que la distribución de conteos no sigue la ley normal sino otras leyes en las que generalmente la varianza depende de la media. Tales son los casos de los modelos Poisson, Binomial, Binomial Negativa y Beta Binomial, entre otros casos en que la varianza depende de la media (Casanoves y Di Rienzo 2006) por lo que el tipo de distribución espacial de la población de estudio se establece, además de la comparación entre la media y la varianza, con el ajuste de los conteos a estas distribuciones estadísticas.

2.3.1 Distribución Uniforme

La variable Y tiene una distribución uniforme, si su densidad se distribuye constante entre dos valores continuos cualesquiera θ_1 y θ_2 . Esta densidad surge de un modo natural en la selección aleatoria de números, en este caso la distribución aleatoria de plantas. Así la densidad de probabilidad es igual en cualquier punto entre θ_1 y θ_2 (Hildebrand y Ott 1997).

Se dice que una variable aleatoria Y tiene una distribución Uniforme en el intervalo $[\theta_1, \theta_2]$ si y sólo si la función de densidad es:

$$f(y) = \begin{cases} \frac{1}{\theta_2 - \theta_1} & \text{con } \theta_1 \leq y \leq \theta_2 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

El promedio y la varianza de una variable aleatoria con distribución Uniforme son:

$$\mu = E(Y) = \frac{\theta_2 + \theta_1}{2} \qquad \sigma^2 = V(Y) = \frac{(\theta_2 - \theta_1)^2}{12}$$

2.3.2 Distribución Poisson

Esta distribución fue creada por el matemático francés Denis Poisson, y ha sido empleada extensamente en biología y medicina como modelo de probabilidad (Wayne 2005). Es un modelo simple utilizado en eventos que ocurren aleatoriamente a lo largo del tiempo (Hildebrand y Ott 1997), o bien a lo largo de una parcela. Modela el conteo por unidad de tiempo, espacio, volumen, entre otros.

De acuerdo con Mendenhall et ál. (2002) una variable aleatoria Y tiene una distribución de probabilidad de Poisson si y sólo si:

$$p(y) = \frac{\lambda^y e^{-\lambda}}{y!} \qquad \text{donde: } y = 0, 1, 2, \dots \text{ con } \lambda > 0$$

El promedio y la varianza de una variable aleatoria con distribución Poisson son:

$$\mu = E(Y) = \lambda \qquad \sigma^2 = V(Y) = \lambda$$

2.3.3 Distribución Bernoulli

Esta distribución expresa el resultado de éxito y fracaso cuando la probabilidad p de éxito es constante y los ensayos son independientes. Al tener n ensayos Bernoulli se establece la distribución Binomial (Hildebrand y Ott 1997).

2.3.4 Distribución Binomial

De acuerdo con Casanoves y Di Rienzo (2006) las variables binomiales con parámetros m, n se denotan como: $Y \sim \text{Bin}(m, n)$ y su función de probabilidad esta dada por:

$$p(Y = y | m, n) = C(n, y) \left(\frac{m}{n}\right)^y \left(1 - \frac{m}{n}\right)^{1-y}, \quad y = 0, 1, \dots, n.$$

donde: $C(n, y) = \frac{n!}{y!(n-y)!}$ y representa el número de formas posibles de tomar y elementos de un grupo de n .

2.3.5 Distribución Binomial Negativa

Esta distribución opera bajo una variable discreta, en ensayos idénticos e independientes, cada uno de los cuales da origen a uno de los dos resultados: éxito o fracaso, y la probabilidad de éxito no varía de un ensayo a otro (Mendenhall et ál. 2002). Con lo anterior, la variable Y es igual al número de ensayos para obtener el k -ésimo éxito (Hildebrand y Ott 1997).

Entonces una variable aleatoria discreta Y tiene una distribución Binomial Negativa con m, k si y sólo si:

$$P(Y = y | m, k) = \frac{\Gamma(k + y)}{\Gamma(y + 1) * \Gamma(k) * \left[\left(\frac{m}{k + 1}\right)^k * \left(\frac{(m/k)}{(m/k + 1)}\right)^y \right]}, \quad y = 0, 1, 2, \dots$$

El promedio y la varianza de una variable aleatoria con distribución Binomial Negativa son:

$$\mu = E(Y) = \frac{k}{\binom{m}{k}} \quad \text{y,} \quad \sigma^2 = V(Y) = \frac{k \left(1 - \left(\frac{m}{k} \right) \right)}{\left(\frac{m}{k} \right)^2}$$

2.3.6 Distribución Beta Binomial

Una variable Y posee una distribución Beta Binomial con parámetros m , n y r , y se denota como $Y \sim \text{BetaBin}(m, n, r)$ (Casanoves y Di Rienzo 2006), si su función de probabilidad esta dada por:

$$p(Y = y | n, m, r) = C(n, y) \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} \frac{\Gamma(a+y)\Gamma(b+n-y)}{\Gamma(a+b+n)}, \quad y = 0, 1, 2, \dots, n.$$

donde:

$$a = \frac{m(1-r)}{n(r)} \quad \text{y} \quad b = \left(\frac{n-m}{n} \right) \frac{1-r}{r}$$

2.4 Muestreo

El estudio de las densidades poblacionales de insectos se obtiene bajo un recuento total de los individuos, es decir un censo poblacional. Este censo arroja el conocimiento exacto de la densidad poblacional (Trumper 2004). Pero hoy en día los conteos totales de las poblaciones son impracticables aún más en cultivos, de modo que se debe recurrir a la estrategia de muestreo (Barfield 1989.). El muestreo es una técnica cuyo objetivo es estimar los parámetros poblacionales con un conjunto de unidades (menor a la población total) y un determinado nivel de error (Trumper 2004).

El desarrollo e implementación de un MIP tiene dos fases, una experimental y una de extensión. En la primera se hacen mediciones de aspectos importantes de la(s) plaga en el sistema. Realizadas las mediciones se pueden elaborar estrategias de combate en contra de la(s) plaga, lo que es llamado como la fase de extensión (Barfield 1989).

La metodología de una estrategia de muestreo posee ciertos componentes que son

fundamentales para su éxito en el MIP. Ellos son los patrones de dispersión (anteriormente citados), el número de muestras a tomar, la localización espacial de las muestras y el tamaño de la unidad muestral (Barfield 1989).

La precisión de las estimaciones de las plagas está directamente relacionada al grado de agregación. Lo que a su vez está totalmente relacionado al tipo de muestreo (Cuadros 2004), *i.e.* aleatorio, sistemático o estratificado. Un mismo método de muestreo puede dar resultados muy distintos según el tipo de distribución espacial de la población de estudio. Si la distribución es al azar o uniforme, el muestreo más apropiado es al azar o al azar estratificado, pero si la distribución es agregada, es necesario determinar los mecanismos de agregación para delinear un muestreo sistemático (MS). Esto porque algunos efectos de paisaje generan agrupamientos o puntos calientes de las plagas. La existencia de un gradiente en la densidad de la plaga, por agregaciones naturales o efectos de paisaje, justifican la utilización de un MS (Cuadros 2004).

Si el patrón de distribución de los insectos plaga es agregado el MS produce menor error (EE) de estimación que el muestreo aleatorio (MA). El MS es más fácil de aplicar que el MA, por no requerir de un marco muestral definido a priori y por las características del paisaje que presentan las fincas en estudio. Además de la distribución espacial de la población de estudio existen otros factores que según Cuadros (2004) afectan el trabajo de muestreo como, son la distribución temporal de la población de interés y los efectos instrumentales y personales.

El ritmo de actividad de cada individuo o población de estudio puede afectar los resultados de muestreo. A este fenómeno se le define como distribución temporal, el cual es uno de los factores que limitan la validez de muestreo. Otro factor es la manipulación de instrumentos de muestreo y lectura de datos, actividades que están sujetas a ciertos márgenes de error que afectan su eficiencia (Cuadros 2004).

El número de muestras a tomar y el tamaño de muestra es uno de los principales factores que determinan el nivel de precisión de una estimación de densidad poblacional. Así, a mayor tamaño de muestra se obtiene menor variabilidad en los resultados, lo que implica mayor precisión en las estimaciones (Cochran 1977, Kish 1982).

La localización espacial de las muestras dependerá del método de muestreo que se aplicará en las unidades de estudio. Los métodos de muestreo de mayor empleo son el simple al azar, el estratificado y el sistemático (Barfield 1989). El muestreo simple al azar o irrestricto es aquel que permite seleccionar unidades dentro de una población, en donde cada unidad tiene la misma probabilidad de ser elegida. A su vez el muestreo al azar estratificado es el que se divide en estratos debido a la presencia diferencial que tienen los individuos en los mismos y la muestra se realiza en cada uno de los estratos poblacionales. Finalmente el muestreo sistemático se da cuando la muestra se obtiene bajo un criterio preestablecido en el espacio o en el tiempo (Cuadros 2004).

El tamaño de la unidad muestral es el componente final de un procedimiento de muestreo, en el cual se escoge la herramienta con la que se tomarán las muestras (Barfield 1989). Las herramientas se dividen en dos categorías, los estimadores de densidad absoluta, y estimadores de densidad relativa. Los primeros, son estimadores de la población de estudio por unidad de área donde uno de los limitantes de estos métodos es el volumen de muestras que deben ser procesadas. Los métodos más utilizados para las estimaciones absolutas son: distancia al vecino más cercano, muestreo de una unidad de hábitat, trampeo de remoción y recaptura de individuos marcados (Barfield 1989).

Los estimadores de densidad relativa proveen estimaciones de la densidad poblacional por unidades distintas al área de terreno. Estos son los dispositivos comúnmente usados en la elaboración de un programa MIP. Por su facilidad práctica minimizan esfuerzos para la toma de decisiones. Algunos estimadores de densidad relativa son: los conteos visuales, el uso de red, las trampas de luz, las trampas con atrayentes, las trampas de vacío, las telas para sacudir, las trampa malaise, las trampas pegajosas y las trampas de lata enterrada (Barfield 1989).

2.4.1 Muestreo secuencial o muestreo de secuencias

En muchas ocasiones se deben usar planes que permitan adoptar decisiones rápidas, inspeccionando el menor número de unidades muestrales. A esto es lo que se conoce como planes secuenciales de muestreo o muestreo secuencial (Acuña 2002). Su principal característica es que no tienen un número fijo de muestras (Cuadros 2004). El muestreo secuencial fue introducido por Wald en los años 40 (Binns et ál. 2000), y según Casanoves y

Di Rienzo (2006) fue extendido por Iwao en 1975. Inicia con un tamaño mínimo de muestra, el cual va ir aumentando según el plan de muestreo fijado y el conteo de números de eventos acumulados (conteo de insectos, hojas con insectos, hojas atacadas, entre otros) observados en el muestreo secuencial (Casanoves y Di Rienzo 2006).

El muestreo secuencial tiene como objetivo separar las densidades de la plaga en varias categorías de decisión (Barfield 1989), donde se debe decidir si la densidad de la población está por encima o por debajo de un nivel crítico. Si los primeros promedios de unas pocas muestras están por debajo del nivel crítico no será necesario tomar más muestras para concluir que la densidad (grado de infestación) es baja. Inversamente, si el promedio es mayor a la densidad crítica se puede concluir que la densidad es alta; pero si las primeras muestras promedian cerca de la densidad crítica, será necesario continuar muestreando para poder tomar una decisión segura (Cuadros 2004). En este tipo de muestreo se maneja el supuesto de que la población muestreada permanece constante durante el proceso de muestreo. Existen varias metodologías de planes de muestreo secuencial, como el plan de Iwao, el plan de Green y el plan de Kuno entre otros.

2.4.1.1 Plan de Iwao

De acuerdo con Casanoves y Di Rienzo (2006), Iwao en 1975 propuso la construcción de las curvas de decisión de un muestreo secuencial con base en la aproximación de la distribución normal, obteniendo los conocidos Límites de la Región de Incertidumbre (LRI):

$$LRI = dc \pm z_{1-\alpha/2} \sqrt{\sigma^2 / n}$$

donde:

dc es la densidad crítica de la población, $z_{1-\alpha/2}$ el cuantil $(1-\alpha/2)$ de una distribución normal estándar, σ^2 la varianza de los conteos y n el tamaño muestral (Binns et ál. 2000, Casanoves y Di Rienzo 2006).

2.4.1.2 Plan de Green

Green en 1970 desarrolló un plan secuencial dependiente de los parámetros de la ley de potencia de Taylor. En este plan la línea crítica (Tn) que se utiliza para la toma de decisiones se calcula mediante la fórmula:

$$Tn = (an^{1-b} / D_o^2)^{(1/(2-b))}$$

donde:

a y b son estimadores obtenidos de la Ley de Potencia de Taylor, n es el número de muestra y el D_o es el nivel de precisión ya definido.

2.4.1.3 Plan de Kuno

El plan de muestreo secuencial elaborado por Kuno (1969) se basa en la obtención de dos líneas críticas a partir de los parámetros de regresión de Iwao. Para la construcción de estas líneas se utiliza la ecuación:

$$Tn = (a + 1) / [D_o^2 - (b - 1) / n]$$

2.4.1.4 Plan de Wald

El plan de muestreo secuencial llamado Prueba de Cociente de Probabilidad Secuencial (SPRT, siglas en inglés) fue desarrollado por Wald (1943). El SPRT se basa directamente en la comparación de la media de la población de estudio (μ) con un valor de densidad crítica (dc), actuando bajo los errores tipo 1 y tipo 2 (α y β respectivamente) (Binns et ál. 2000). Cuando la media es menor a la densidad crítica la clasificación que realiza este plan de muestreo secuencial es correcta en $100(1 - \alpha)\%$; más en cambio si la media es mayor que la densidad crítica la clasificación es correcta en $100(1 - \beta)\%$.

De acuerdo a las anteriores probabilidades, este plan desarrolla líneas de decisión basadas en la relación de varios parámetros estadísticos. Definiendo valores para los límites superior e inferior y la pendiente de las rectas que forman las zonas de decisión bajo las distribuciones Poisson, Binomial, Binomial Negativa y Normal (Binns et ál. 2000). La construcción de las dos rectas para las curvas de decisión se dan a partir de:

$$Tn_1 = Li + S * n$$

$$Tn_2 = Ls + S * n$$

donde:

Tn es el número acumulado de insectos plaga o unidades con plaga

Li es el límite inferior

Ls es el límite superior

S es el valor de la pendiente

n es el tamaño de muestra

2.4.2 Umbral de decisión

Un umbral se define como un indicador estadístico que da señales, signos, muestras o marcas de algún suceso, acontecimiento o proceso que pone en evidencia la magnitud o intensidad de un problema o el grado de avance de su atención. En otras palabras es un punto de referencia óptimo que le permite al técnico tomar una acción, para que la plaga no alcance el nivel de daño económico (punto en el que las pérdidas y las ganancias de realizar un control son iguales) (Barfield 1989).

Este concepto es aplicado en el área agrícola como herramienta en el MIP, permitiendo a los agricultores vigilar y controlar las plagas en sus campos, reduciendo al mínimo absoluto la utilización de plaguicidas químicos costosos y potencialmente dañinos y peligrosos (FAO 1998). El MIP se basa, entre otros aspectos, en el desarrollo de planes de muestreos eficientes, y en la determinación de criterios de decisión, como son los períodos críticos del cultivo y los llamados umbrales de acción (Barfield 1989).

En el marco de un MIP, el muestreo es uno de los principales instrumentos para respaldar la toma de decisiones del manejo del insecto plaga. La estimación de la densidad poblacional de un insecto plaga es un paso fundamental para contrastar con umbrales de daño económico y así determinar el efectuar o no una intervención de manejo de las poblaciones plaga (Trumper 2004).

En el control de insectos plaga se ha empleado la herramienta de umbral de infestación, indicador de decisión para este estudio. Este elemento es considerado fundamental para la toma de decisiones, y en el caso del muestreo de secuencias se hace indispensable para

conocer la densidad de población ante la cual hay que aplicar una medida de control para evitar el daño económico (Clavijo s.f), como lo son las intercepciones de material de exportaciones de *D. marginata* en las aduanas estadounidenses.

2.5 Bibliografía

- Acuña, B; Franco, J; Fernández, A; Gamboa, J; Jiménez, A; Murillo, G; Ramírez, J. 1992. Técnicas para la producción de *Dracaena marginata* en Costa Rica. CINDE-UNED. San José. Costa Rica. 65 p.
- Acuña, J. 2002. Control de calidad: un enfoque integral y estadístico. Tecnológica de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 688 p.
- Barfield, C. 1989. El muestreo en el manejo integrado de plagas. *In*: Andrews, K; Rutilio, J. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: estado actual y futuro. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano. 623 p.
- Barker, GM. 2001. Gastropods on land: phylogeny, diversity and adaptive morphology. Hamilton, NZ, Landcare Research. 146 p.
- Beers, EH; Jones, VP. 2004. Fixed precision sampling plans for White Apple Leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) on Apple. *Journal of Economic Entomology*. 97 (5): 1752-1755.
- Binns, M; Nyrop, J; van der Werf, W. 2000. Sampling and monitoring in crop protection: The Theoretical Basis for Developing Practical Decision Guides. CAB International, United Kingdom. 284 p.
- Casanoves, F; Di Rienzo, J. 2006. SeqSam, un programa para la elaboración de planes de muestreo secuencial. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 77: 94-101.
- Clavijo, S. S.f. Fundamentos de manejo de plagas. (En línea). Consultado: 26 de jul. 2006. Disponible en: <http://www.redepapa.org>
- Cochran, W. 1977. Técnicas de muestreo. Editorial Trillas México. 513 p.

- Colpetzer, K. 2005. Importation of oversized *Dracaena* for ornamental purposes from Costa Rica into the United States: a qualitative Pathway- Initiated Risk Assessment. North Carolina. United States. 96 p.
- Cuadros, L. 2004. Diagnóstico y evaluación de plagas insectiles y otros. Dirección General de Sanidad Vegetal. Arequipa. Perú. 18 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2005. Innovación tecnológica para la generación de material propagativo sano de *Dracaena marginata* Para el mercado de exportación estadounidense. San José. Costa Rica. 83 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2006. Insectos asociados al cultivo de *Dracaena marginata*. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 4 p.
- Davis, R. 1991. Introducción a la entomología. Trad. Varela MA; Sandoval EV. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 449 p.
- FAO. 1998. ¿Qué es el manejo integrado de plagas? (En línea). Consultado: 23 de sep 2006. Disponible en: <http://www.fao.org>
- Foldi, I. 1990. The scale over. In Rosen, D. ed. Armored scale insects: their biology, natural enemies and control. Oxford, IN. 9 p.
- Gámez, ES; Murillo, AW. 2005. Evaluación de diferentes productos comerciales para minimizar la incidencia de *flecking* en *marginata*, *Dracaena cincta*. Guácimo. Costa Rica. EARTH. 51 p.
- Godoy, C. 2005. Familia *Cicadellidae*. (En línea). Consultado: 23 de sep 2006. Disponible en: <http://www.inbio.ac.cr>
- Green, R. 1970. On fixed precision level sequential sampling. *Journal Population Ecology*. 12: 249-251.
- Hidalgo G, MM; Rodríguez L, R; Ricardo, NE; Ferras, H. 1999. Dinámica poblacional de cicadélidos (Homoptera: Cicadellidae) en un agroecosistema cañero de Cuba. *Revista de Biología Tropical* 47(3): 503-512.
- Hildebrand, DK; Ott, L. 1997. Estadística aplicada. Trad. Torres, C. Addison-Wesley Iberoamericana. Buenos Aires. Argentina. 943 p.

- Iwao, S. 1975. A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Researches on Population Ecology*. 16: 281-288.
- Kish, L. 1982. *Muestreo de encuestas*. Editorial Trillas. México. 736 p.
- Kuno, E. 1969. A new method of sequential sampling to obtain population estimates with a fixed level of precision. *Journal Population Ecology*. 11: 127-136.
- Lessio, F; Alma, A. 2006. Spatial distribution of Nymphs of *Scaphoideus titanus* (Homoptera: Cicadellidae) in grapes, and evaluation of sequential sampling plans. *Sampling and Biostatistics*. 99 (2): 578-582.
- Mau, FL; Martin, JL. 1992. *Conocephalus saltator* (Saussure). (En línea). Manao, HW. Consultado: 1 de nov. 2007. Disponible en: <http://www.extento.hawaii.edu/kbase/crop>
- Mendenhall, W; Wackerly, D; Scheaffer, R. 2002. *Estadística matemática con aplicaciones*. Iberoamericana. Estados Unidos. 854 p.
- Miller, DR., Miller, GL., Hodges, GS., Davidson, JA. 2005. Introduced scale insects (Hemiptera: Coccoidea) of the United States and their impact on U.S. agriculture. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 107: 123-158.
- Miranda de Larra, J. 1975. *Cultivos ornamentales de Cataluña*. AEDOS. Barcelona. España. *Agropecuaria*. 41 (486): 635-637.
- Monge N, J. 1996. *Moluscos de importancia económica y sanitaria en los trópicos: la experiencia de Costa Rica*. San José, CR, Universidad de Costa Rica. 6 p.
- Nickle, DA. 2006. Book review: *Field Guide to Grasshoppers, Katydid, and Crickets of the United States*. By Capinera, J; Scott, R; Walker, T. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*. 108:743-746.
- Pape, H. 1976. *Plagas de las flores y plantas ornamentales*. OIKOS-TAU. Barcelona. España. 656 p.
- Pedigo, L. S.f. *Umbrales económicos y niveles de daño económico*. (En línea). Consultado: 23 de sep 2006. Disponible en: <http://ipmworld.umn.edu>
- Power, C; Lindquist, R. 1994. *El manejo integrado de los insectos, ácaros y enfermedades en los cultivos ornamentales*. Hoyos, V. ed. Illinois, US, Ball Publishing. 119 p.

- Prado, J. 2006. Desarrollo de protocolos de muestreo y evaluación de la relación de prácticas agrícolas con la población de plagas cuarentenarias en *Dracaena marginata* en costa rica. Tesis de grados de maestría. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 144 p.
- PROCOMER. 2005. Medidas sanitarias y fitosanitarias del CAFTA. (En línea). Consultado: 17 de jun 2006. Disponible en: <http://www.procomer.com>
- Ramírez, J. 1988. Prueba de productos cubrecortes en tallos de *Dracaena marginata*. Tesis de licenciatura en fitotecnia. San José. Costa Rica. UCR. 61p.
- Ross, H. 1964. Introducción a la Entomología general aplicada. Trad. M Fusté. 2. ed. Barcelona, ES, Omega. 536 p.
- Russell, F; Mizell, R; Andersen, P; Tipping, C; Brodbeck, B. 2003. *Xylella fastidiosa* Diseases and Their Leafhopper Vectors. EENY-683. 7 p.
- Salas, R; Soto, H; Molina, E. 1991. Síntomas visuales de deficiencias nutricional en *Dracaena demerensis* “warneckii” mediante la técnica de cultivo en solución nutritiva. Agronomía Costarricense. 15 (1/2): 129-134.
- Smith, D; Beattle, GA; Broadley, R. 1997. Citrus pests and their natural enemies: integrated pest management in Australia. Queensland, AU, Department of Primary Industries. 282 p.
- Taylor, LR. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. Annual Review of Entomology 29: 321-359.
- Tipping, C; Mizell, R.F. 2004. Sharpshooters, Leafhoppers, Cicadellidae (Insecta: Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). ENY-334. 8 p.
- Tomeu, B. 1990. Estudio de factibilidad para la producción y exportación de tres tipos de plantas ornamentales (*Aglaonema* sp. *Dracaena marginata* y *Yuca elephantipes*) al Mercado Norteamericano. Tesis de licenciatura en economía agrícola. San José. Costa Rica. UCR. 132 p.
- Trumper, E. 2004. Base para el diseño de muestreo de plagas. (En línea). Consultado 26 de jul 2006. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar>

- Venette, R; Moon, R; Hutchison, W. 2002. Strategies and statistics of sampling for rare individuals. *American Entomologist*. 47: 143-174.
- Vivas, L; Clavijo, S; González, H. 2001. Distribución temporal y espacial en poblaciones de Sogata (*Tagosodes orizicolus*) (Muir). (En línea). Consultado: 4 de jun. 2006. Disponible en: <http://www.redpav-fpolar.info.ve>
- Wald, A. 1973. *Sequential Analysis*. Dover, New York, 212 p. (Wald's original paper, "On cumulative sums of random variables", was published in 1944).
- Wayne, D. 2005. *Bioestadística*. Limusa Wiley. Georgia. Estados Unidos. Universidad del Estado de Georgia 755 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2007. *Animal and Plant Health Inspection Service*. (En línea). Consultado: 1 de dic 2007. Disponible en: <http://www.aphis.usda.gov><http://www.aphis.usda.gov/>

3 ARTÍCULO 1: Evaluación de factores en trampas pegajosas para captura de cicadélidos

3.1 Introducción

En Costa Rica la producción de plantas ornamentales ha contribuido con grandes oportunidades de desarrollo y crecimiento comercial (Tomeu 1990). Una planta ornamental que ocupa un lugar destacado en cuanto a popularidad es la *Dracaena* sp. (dracaena). Dentro de las especies de dracaenas ampliamente cultivadas en Costa Rica está la *Dracaena marginata*. Esta variedad ha adquirido una gran demanda de exportación principalmente en mercados de Europa y los Estados Unidos (CSP⁴ 2005).

Sin embargo, una familia de insectos identificada como plaga cuarentenaria en el cultivo de *D. marginata* son los cicadélidos (Homóptera: Cicadellidae) ya que se alimentan, se refugian y ovipositan masas de huevos sobre estas plantas. La oviposición de las masas de huevos de cicadélidos en los follajes de esta planta ha sido la principal causa del número total de intercepciones en los puertos de los Estados Unidos en un periodo de 20 años (38% del total de exportaciones) (CSP 2005).

La restricción en las aduanas estadounidenses de estas masas de huevos se da porque estos insectos producen un riesgo fitosanitario para la agricultura de este país (Colpetzer 2005). Por ejemplo se ha observado un aumento en los daños producidos por los cicadélidos en varios cultivos, producto de ser vector de la bacteria *Xylella fastidiosa* (Torres et ál. 2000, Yamamoto et ál. 2001, Blua y Morgan 2003, Bextine et ál. 2004; Tipping y Mizell III 2004). Los daños causados en los diferentes cultivos por estos fitófagos son similares, caracterizándose por un acortamiento de los entrenudos, aparición de hojas enrolladas de tamaño inferior al normal que presentan amarillamiento y posteriormente necrosis (Torres et ál. 2000).

Así, con el fin de estimar la densidad de adultos y ninfas de cicadélidos en los lotes de producción de *D. marginata* es necesaria la utilización de algún estimador de densidad relativa

⁴ *Clean Stock Program (Proyecto Dracaena)*.

en puntos clave de los lotes de producción. El estimador de densidad relativa, trampas pegajosas, fue seleccionado porque los insectos son atraídos por una gama de espectros de luz; esto se debe a razones que incluyen el encontrar los recursos que necesitan (alimento y hospedaje), y la dispersión de estos en el campo (Prokopy y Owens 1983, citado por Tipping et ál. 2004).

Las trampas pegajosas (láminas amarillas) ofrecidas en el mercado para el control de plagas cuarentenarias presentan algunas limitantes para el caso de los productores costarricenses por ser productos importados y de alto costo. Esto puede ocasionar problemas a los productores para su adquisición. De este modo el objetivo de esta investigación es evaluar la efectividad de diferentes alternativas de fabricación de trampas, y en ellas evaluar factores como el color, la altura y la posición en trampas pegajosas para la captura de insectos cuarentenarios, principalmente cicadélidos, en la producción de *D. marginata*.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Área de estudio

Esta investigación es de tipo cuantitativa y se llevó a cabo en la zona del Caribe de Costa Rica (Figura 6). En esta zona se trabajó a nivel de campo en fincas de producción que pertenecen a los distritos de Guápiles y Roxana del cantón de Pococí en la provincia de Limón.

Según la descripción del Instituto Meteorológico Nacional (2007) el cantón de Pococí posee una altitud promedio de 262 metros sobre el nivel del mar (msnm), una temperatura promedio de 25 °C, la radiación solar tiene un promedio de seis horas luz y una precipitación promedio anual de 4500 mm.



Fuente: www.guiascostarica.com/mgeol.gif

Figura 6. Ubicación de la zona de estudio en el Caribe costarricense.

3.2.2 Variedades de estudio de *Dracaena marginata*

El estudio se basó en la elaboración de ensayos con trampas pegajosas en las variedades de *D. marginata* verde, magenta y bicolor. Estas variedades son las que poseen mayor porcentaje de intercepciones (54, 21,6, y 19,6% respectivamente⁵) realizadas en los Estados Unidos en el período de octubre del 2005 a agosto del 2006.

3.2.3 Evaluación de factores en trampas pegajosas

Para la estimación de la densidad poblacional de plagas cuarentenarias se desarrolló la metodología del uso de un estimador de densidad relativa en los lotes de producción de *D. marginata*. En el caso de los insectos plaga cicadélidos, el estimador de densidad relativa que se utilizó fue las trampas pegajosas.

Esta herramienta fue seleccionada porque permite el monitoreo de la diversidad y abundancia de insectos (Nicholls 2001). Las trampas pegajosas son apropiadas para estimar el comportamiento de los Cicadélidos (Homópteros) permitiendo conocer los picos de máxima población (de Coll et ál. 1998).

⁵ Base de datos de intercepciones en el CSP. 14, oct. 2005 – 15, ago. 2006.

La estimación de densidad poblacional con trampas pegajosas comprendió cuatro ensayos que se llevaron a cabo en tres lotes de producción de *D. marginata* de la zona del Caribe. Los factores de estudio fueron tipo de trampa pegajosa, color de las trampas pegajosas, la altura de las trampas pegajosas y la posición de las mismas en los lotes de producción de *D. marginata*. A su vez, se utilizó como variables respuesta la abundancia, el número e identificación de géneros de cicadélidos, e índices de biodiversidad.

3.2.4 Colocación de las trampas pegajosas

Todos los ensayos contaron con al menos 20 trampas pegajosas ubicadas en los lotes de producción (este número varió dependiendo de la cantidad de tratamientos y de las repeticiones por tratamiento). Las trampas fueron ubicadas de forma aleatoria, a una distancia de al menos 10 m entre sí. Para la aleatorización se utilizó como marco muestral una grilla 10 x 10 m. Primero se seleccionó los puntos de muestreo y dentro de estos puntos de muestreo se eligió el tratamiento.

3.2.4.1 Alternativas de trampas pegajosas

El primer ensayo fue un diseño unifactorial completamente al azar, sobre tres niveles: trampa pegajosa manufacturada (comercial), trampa pegajosa elaborada manualmente (con materiales de láminas de acetatos y pintura en esmalte color amarillo intenso marca SUR) y trampas de lata de refresco (pintadas con esmalte color amarillo intenso). Estas últimas se utilizaron debido al efecto omnidireccional de la trampa. Los cortes de trampas pegajosas (comercial y acetatos) tuvieron una dimensión de 12,5 x 15,5 cm para igualar la superficie de la lata de refresco de 218,75 cm².

Cada tratamiento contó con 10 repeticiones. Este ensayo se llevó a cabo en un lote de producción de *D. marginata* variedad verde de una finca de zona del Caribe. La escogencia del color amarillo intenso para la fabricación de las trampas amarillas se dio por ser el color más similar al ofrecido por las trampas manufacturadas.

El ensayo siguió el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} es el número de insectos plaga capturados en las trampas pegajosas en el i -ésimo tratamiento y en la j -ésima repetición.

μ es la media general del número de insectos capturados en las trampas pegajosas.

τ_i es el efecto del i -ésimo tipo de trampa.

ε_{ij} es el término de error aleatorio asociado a la observación ij -ésima, el cual se supone que es independiente y sigue una distribución normal con media cero y varianza (σ^2) conocida.

3.2.4.2 Colores de trampas pegajosas

Los niveles del segundo ensayo con trampas pegajosas se obtuvieron con variedades de tonos utilizados en la captura de insectos. Colores como: 1) amarillo, coloración más atractiva para muchos insectos herbívoros incluyendo cicadélidos (de Coll et ál. 1998, Nicholls 2001, Tipping et ál. 2004, Patt y Sémaou 2007), 2) amarillo intenso, tono utilizado para el primer ensayo de trampas pegajosas, 3) azul, color que ha sido utilizado para determinar las poblaciones de insectos plaga y de depredadores (Nicholls 2001), 4) verde, color empleado en la evaluación de eficiencia de las trampas amarillas en la captura de insectos plaga (Risco et ál. 1999) y por su semejanza al follaje (Patt y Sémaou 2007), y 5) blanco, coloración evaluada en el monitoreo de plagas en diversidad de cultivos (Dughetti s.f, Galindo y Español 2001), por su alto nivel de reflexión uniforme (Patt y Sémaou 2007).

Las anteriores coloraciones fueron los tratamientos del ensayo para encontrar el mejor color en la captura de los insectos plaga de estudio (cicadélidos). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones y se realizó un ensayo para cada variedad de *D. marginata* (verde, bicolor y magenta).

El ensayo siguió el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} es el número de insectos plaga capturados en las trampas pegajosas al i -ésimo tratamiento y en la j -ésima repetición.

μ es la media general del número de insectos capturados en las trampas pegajosas.

τ_i es el efecto del i -ésimo color de trampa.

ε_{ij} es el término del error aleatorio asociado a la observación ij -ésima, el cual se supone que son independientes y siguen una distribución normal con media cero y varianza (σ^2) conocida.

3.2.4.3 Gama de colores de trampas pegajosas

El tercer ensayo consistió en la degradación del mejor nivel del ensayo de colores, en la captura de insectos plaga (cicadélidos). Este ensayo es unifactorial, donde los niveles fueron cinco tonos del color amarillo. El amarillo intenso, el color amarillo de la trampa de manufactura (control), y cuatro degradaciones del color amarillo. Estas degradaciones fueron los tonos Texas (1-5D), Alegría (1-4T), Rayo de sol (3-4T), y Pleno sol (3-5D) de la marca de pintura SUR. Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones. Este ensayo se llevó a cabo en dos lotes de producción de *D. marginata*, uno en cada variedad (verde y bicolor).

El ensayo siguió el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

donde:

Y_{ij} es el número de insectos plaga capturados en las trampas pegajosas al i -ésimo tratamiento y en la j -ésima repetición.

μ es la media general del número de insectos capturados en las trampas pegajosas.

τ_i es el efecto de la i -ésima degradación del color amarillo en la trampa.

ε_{ij} es el término del error aleatorio asociado a la observación ij -ésima, el cual se supone es independiente y sigue una distribución normal con media cero y varianza (σ^2) conocida.

3.2.4.4 Altura y orientación de trampas pegajosas

El último ensayo consistió en un arreglo bifactorial. Un factor es la altura de la trampa pegajosa en la planta de *D. marginata*, esto a dos niveles: a) 50 cm y b) 120 cm de altura del suelo. El otro factor es el tipo de posición de la trampa pegajosa, a tres niveles: a) paralela; b) perpendicular y c) en forma de cruz a las hileras de producción (Figura 7). La combinación de los dos factores da como producto un diseño factorial $3 \times 2 = 6$ tratamientos.



Figura 7. Posición de trampas pegajosas en sistemas de producción de *Dracaena marginata* (A) paralelo, (B) perpendicular y (C) forma de cruz.

Cada tratamiento contó con cinco repeticiones en un diseño completamente aleatorizado. Este ensayo se llevó a cabo en dos lotes de producción de *D. marginata*, uno en la variedad verde y otro en la variedad magenta.

El ensayo siguió el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + P_j + A_i * P_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} es el número de insectos plaga capturados en las trampas pegajosas al ij -ésimo tratamiento y k -ésima repetición.

μ es la media general del número de insectos capturados en las trampas pegajosas.

A_i es el efecto de la i -ésima altura de la trampa pegajosa.

P_j es el efecto de la j -ésima posición de la trampa.

$A_i * P_j$ es la interacción de los dos factores en la captura de insectos plaga.

ε_{ijk} es el término de error aleatorio asociado a la observación ij -ésima, el cual se supone independiente y sigue una distribución normal con media cero y varianza (σ^2) conocida.

3.2.5 *Conteo de insectos capturados*

Para cada uno de los ensayos se recolectaron las trampas pegajosas en campo con plástico transparente. El conteo de insectos capturados en las trampas se realizó en laboratorio en donde se registró el número total de insectos capturados, el número total de cicadélidos, identificación de los mismos, las coordenadas de la trampa en el campo, la altura, y la posición de la trampa.

El análisis de los datos se realizó con el programa estadístico InfoStat (2007p), y para el cuarto ensayo se realizó una transformación en los datos. Esto por las diferencias de áreas entre las trampas de forma en cruz con respecto a las paralelas y perpendiculares al sistema de producción. El trabajar en las tres variedades de *D. marginata* (verde, bicolor y magenta) permitió hacer inferencia sobre los promedios de insectos capturados, independientemente de la variedad de estudio.

3.2.6 *Biodiversidad de cicadélidos*

Los índices de biodiversidad con aproximación heurística se emplearon para analizar comunidades (géneros) de cicadélidos. Estos índices se utilizan ampliamente en estudios ecológicos, de paisaje, de diversidad genética, de riesgo ambiental y de cambios en patrones de uso de las tierras (InfoStat 2004). La alternativa de análisis de biodiversidad que se empleó fue la construcción de intervalos de confianza (IC), mediante la técnica de computación intensiva *bootstrap* (InfoStat 2004), para índice de biodiversidad de Shannon y Weaver y dominancia de Simpson.

3.2.6.1 Índice de Shannon y Weaver

Este índice de biodiversidad desarrollado en 1949 se basa en suponer que la heterogeneidad depende del número de especies presentes y de su abundancia relativa (InfoStat 2004). Para este caso se utilizó en diversidad de géneros y el cálculo se realizó con el programa InfoStat (versión 2007p) con la siguiente ecuación:

$$H = -\sum_{i=1}^r p_i \ln p_i$$

donde:

p_i es la proporción del i -ésimo género de cicadélidos capturados

$\ln p_i$ es el logaritmo en base natural de p_i

r es el número de géneros de cicadélidos capturados

3.2.6.2 Índice de Simpson

Este índice sugiere que una medida intuitiva de la diversidad de una población está dada por la probabilidad de que dos individuos tomados independientemente de una población pertenezcan a la misma especie (InfoStat 2004). La estimación del índice se obtuvo a través del programa InfoStat bajo la ecuación:

$$D = \sum_{i=1}^r \frac{x_i(x_i - 1)}{t_o(t_o - 1)}$$

donde:

x_i es el i -ésimo género de cicadélidos capturados

t_o es el número total de individuos (cicadélidos) capturados (abundancia)

r es el número de géneros de cicadélidos capturados

El recíproco de Simpson ($1/D$) puede interpretarse como el número de especies igualmente abundantes necesarias para producir la heterogeneidad observada en la muestra (InfoStat 2004).

3.3 Resultados

3.3.1 Alternativas de trampas pegajosas

El análisis del primer ensayo mostró diferencias significativas entre los promedios de captura de cicadélidos entre los tratamientos ($p = 0,0041$). El tratamiento acetato con pintura amarillo intenso capturó el mayor número de cicadélidos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Promedios de cicadélidos capturados en lotes de producción de Dracaena marginata

Tratamiento	Medias	n	
Comercial	6,20	10	A
Lata	7,50	10	A
Acetato	12,80	10	B

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD de Fisher, $p < 0,05$).

El tono amarillo intenso utilizado en las trampas pegajosas de acetatos resaltó en la captura de cicadélidos, pero la mayor diversidad de géneros de cicadélidos se presentó en la lata de refresco (Cuadro 2). En la diversidad de géneros capturados con este tono, se destacan las especies de *Empoasca* sp. *Caldwelliola* sp. y *Oncometopia* sp. (Cuadro 3), considerados críticos debido a que depositan sus masas de huevos en los *tips* de *D. marginata*. Estos *tips* son utilizados como producto de exportación a diferentes mercados incluyendo el estadounidense.

Cuadro 2. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap

Tratamiento	Shannon y Weaver		Simpson	
	LI	LS	LI	LS
Comercial	0,34	0,78	0,56	0,83
Lata	1,46	1,89	0,17	0,33
Acetato	0,50	0,83	0,62	0,82

LI: Límite inferior

LS: Límite superior

Cuadro 3. Promedios y porcentajes de captura de cicadélidos críticos en alternativas de trampas pegajosas

Tratamiento	<i>Oncometopia</i> sp.		<i>Caldwelliola</i> sp.		<i>Empoasca</i> sp.	
	Media	Fr. Rel	Media*	Fr. Rel	Media	Fr. Rel
Comercial	0,00	0,00	0,80	0,40	0,00	0,00
Lata	0,00	0,00	0,30	0,15	0,00	0,00
Acetato	0,30	1,00	0,90	0,45	0,10	1,00

Fr. Rel: Frecuencia relativa

* No hay diferencias significativas entre las medias

3.3.2 Colores en trampas pegajosas

En el modelo del segundo ensayo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para los promedios de cicadélidos capturados ($p = 0,0257$). El tratamiento acetato con pintura amarillo intenso capturó el mayor número de cicadélidos (Cuadro 4). La diferencia de este tratamiento no resultó ser significativa con el promedio de captura de cicadélidos total dado por la trampa pegajosa amarilla ofrecida en el mercado.

*Cuadro 4. Promedios de cicadélidos capturados en lotes de producción de *Dracaena marginata**

Tratamiento	Medias	n		
Azul	0,00	4	A	
Blanco	0,25	4	A	
Verde	0,25	4	A	
Comercial amarillo	1,00	4	A	B
Acetato amarillo	1,75	4		B

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD de Fisher, $p < 0,05$).

Se observó que las trampas pegajosas con colores amarillos (intenso y manufactura) presentaron la tendencia de mayor captura de cicadélidos en las variedades de *D. marginata* respecto a los otros colores (Figura 8). La trampa con color amarillo intenso capturó mayor número de cicadélidos en las variedades verde y magenta; mientras las trampas amarillas ofrecidas por el mercado en la variedad bicolor, sin embargo estas tendencias no mostraron significancias estadísticas. Las trampas pegajosas con color azul no capturaron cicadélidos, mientras que las trampas blancas presentaron el nivel más bajo de captura dentro de las que capturaron cicadélidos. Las trampas color verde se comportaron de forma similar al acetato y la manufacturada en las variedades bicolor y magenta.

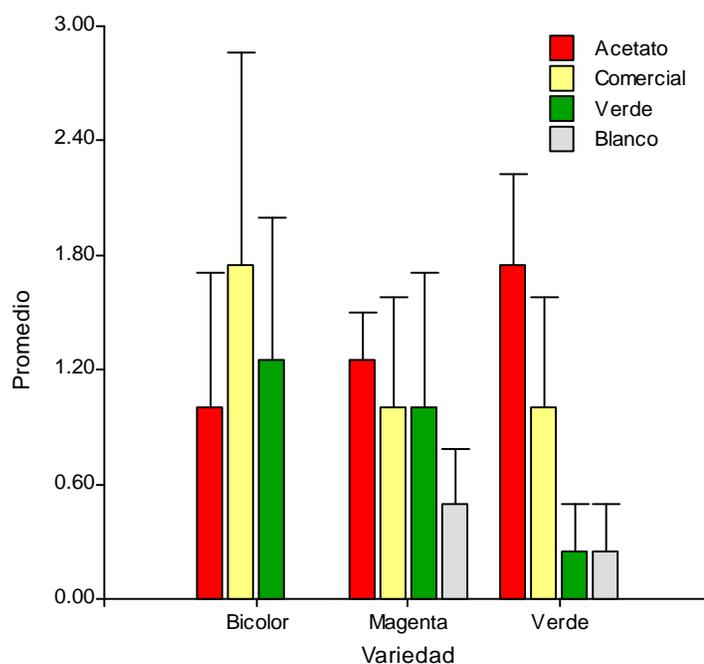


Figura 8. Promedios de cicadélidos capturados por las trampas pegajosas en variedades de *Dracaena marginata*.

El tratamiento con mejores valores en los índices de diversidad fue el acetato con tono amarillo intenso (Cuadro 5). A partir de estos intervalos se puede inferir que existen diferencias entre la trampa de acetato amarillo y la trampa comercial para el índice de Shannon y Weaver, pero no para la dominancia de Simpson. La trampa pegajosa acetato con tono amarillo intenso fue también la que mayor captura de cicadélidos del género *Oncometopia* sp. ($p = 0,0464$). Esta plaga es crítica por ser responsable de depositar el tipo de masas de huevos con mayor problema, para muchos productores, en los *tips* de *D. marginata*. Por otro lado la trampa pegajosa comercial de color amarillo presentó el mayor porcentaje de captura de cicadélidos del género *Empoasca* sp. género de cicadélidos crípticos asociado a las producciones de *D. marginata* (Cuadro 6).

Cuadro 5. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap

Tratamiento	Shannon y Weaver		Simpson	
	LI	LS	LI	LS
Blanco	0,00	0,69	0,00	0,40
Verde	0,95	1,28	0,00	0,39
Comercial amarillo	1,22	1,68	0,13	0,49
Acetato amarillo	1,67	1,90	0,07	0,20

LI: Límite inferior

LS: Límite superior

Cuadro 6. Promedios y porcentajes de captura de cicadélidos críticos en colores de trampas pegajosas

Tratamiento	<i>Oncometopia</i> sp.		<i>Empoasca</i> sp.	
	Media	Frecuencia Relativa	Media*	Frecuencia Relativa
Azul	0,00 (a)	0,00	0,00	0,00
Blanco	0,08 (a)	0,12	0,17	0,11
Verde	0,08 (a)	0,12	0,42	0,28
Comercial amarillo	0,08 (a)	0,12	0,67	0,44
Acetato amarillo	0,42 (b)	0,64	0,25	0,17

Letras distintas indican diferencias significativas (LSD de Fisher, $p < 0,05$).

* No hay diferencias significativas entre las medias.

3.3.3 Gama de colores amarillo para la fabricación de trampas pegajosas

El tercer ensayo, de gama de colores, no resultó ser significativo para los tratamientos ($p = 0,4570$) con respecto al promedio de captura cicadélidos en las trampas pegajosas. El tratamiento trampa pegajosa con tono amarillo intenso reportó el mayor promedio de cicadélidos capturados; sin embargo este promedio no resultó ser estadísticamente diferente del promedio obtenidos por los demás tratamientos.

El estudio de diversidad y dominancia de cicadélidos en los tonos de amarillo utilizados para la fabricación de trampas pegajosas del tercer ensayo no presentó diferencias significativas entre gama de colores en los intervalos de confianza por *Bootstrap* para los índices de Shannon y Weaver e índice de Simpson (Cuadro 7).

Cuadro 7. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap para la gama de tonos de color amarillo

Tratamiento	Shannon y Weaver		Simpson	
	LI	LS	LI	LS
Intenso	1,28	1,82	0,17	0,49
Texas	0,90	1,44	0,22	0,62
Rayo de Sol	1,55	1,77	0,12	0,39
Alegría	0,82	1,67	0,18	0,65
Pleno Sol	1,37	1,72	0,13	0,30
Comercial	1,78	1,99	0,13	0,22

LI: Límite inferior

LS: Límite superior

Al evaluar la presencia de cicadélidos importantes (*Oncometopia* sp. y *Empoasca* sp.) por separado, los tratamientos presentaron tendencias diferentes. En el caso de *Oncometopia* sp. se capturó el mayor promedio estos insectos con el tono amarillo intenso (0,30). Este tratamiento no resultó ser estadísticamente diferente del tono amarillo Pleno Sol (0,10). Los demás tratamientos no tuvieron observaciones de *Oncometopia* sp.

Con respecto al género *Empoasca* sp., se logró capturar más individuos de este género con las trampas pegajosas amarillas comerciales. El promedio de este tratamiento no es estadísticamente significativo de los tonos Pleno Sol, Rayo de Sol, Alegría y Amarillo Intenso; pero sí con respecto al tono Texas (Figura 9).

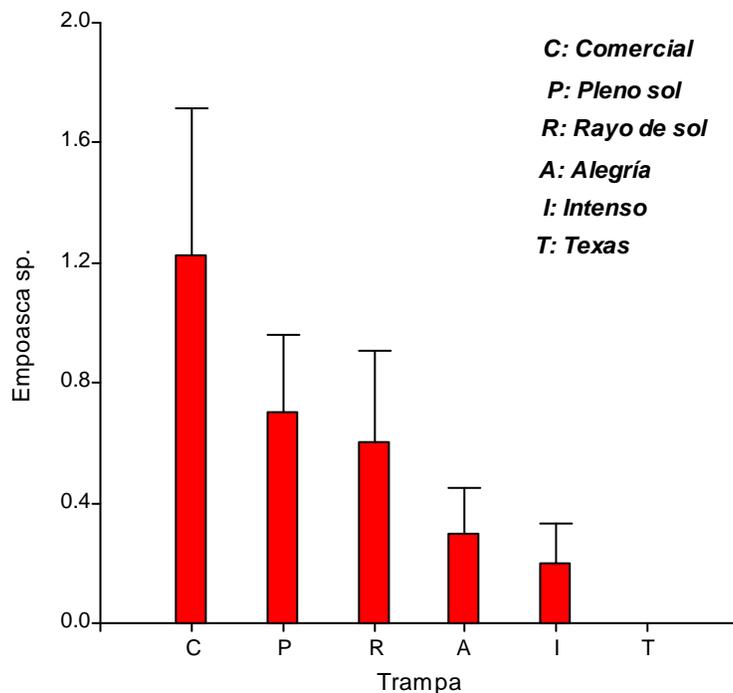


Figura 9. Promedios de cicadélidos género *Empoasca sp.* capturados en tonos amarillos.

3.3.4 Orientación de trampas pegajosas

El análisis del ensayo bifactorial presentó que no hay interacción entre los factores de posición y altura de las trampas pegajosas en la captura de cicadélidos en lotes de producción de *D. marginata* ($p = 0,1753$). No se encontró diferencias significativas entre los promedios de cicadélidos capturados por los dos niveles del factor altura ($p = 0,1073$), ni en los tres niveles del factor posición de la trampa pegajosa acetato con tono amarillo intenso ($p = 0,5231$).

De igual manera, no se encontró diferencias significativas entre la cantidad promedio de géneros de cicadélidos capturados en los dos niveles del factor altura ($p = 0,4774$). Un promedio de 1,48 géneros a una altura de 50 cm y 1,78 géneros a una altura de 120 cm. De igual modo, no se encontraron diferencias significativas entre los promedios de número de géneros capturados en las tres colocaciones de las trampas pegajosas ($p = 0,4969$). Los tratamientos cruz, paralelo y perpendicular al sistema de producción tuvieron valores promedio de géneros capturados de 1,83; 1,72 y 1,28 respectivamente.

El estudio de diversidad de géneros de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas del ensayo bifactorial dio como resultado que la mayor diversidad de estos insectos plaga se capturan en una altura de 50 cm o cuando la trampa pegajosa esta en posición paralela a las hileras de producción de *D. marginata* (Cuadro 8).

Cuadro 8. Límites de confianza para los índices de diversidad y dominancia por Bootstrap para los efectos de los factores altura y posición de la trampa acetato con tono amarillo intenso

Factor	Nivel	Shannon y Weaver		Simpson	
		LI	LS	LI	LS
Altura	50 cm	1,58	1,78	0,18	0,24
	120 cm	1,00	1,34	0,35	0,50
Posición	Cruz	1,19	1,55	0,24	0,40
	Paralelo	1,65	1,82	0,16	0,21
	Perpendicular	0,85	1,43	0,29	0,62

LI: Límite inferior

LS: Límite superior

3.4 Discusión

La atracción al color es una característica innata de los insectos (Chu et ál. 2000) y su captura es producto de la reflexión espectral de diferentes colores ofrecidos en las trampas (Chu et ál. 2000, Liu y Chu 2000). La trampa pegajosa confeccionada con amarillo intenso en esmalte, resultó ser tan eficaz en la captura de cicadélidos como el color amarillo ofrecido por las trampas comerciales. Estos colores atrajeron más cicadélidos que otros empleados en el monitoreo de insectos plaga (blanco, verde y azul). Las trampas pegajosas con los colores en amarillo obtuvieron mayores promedios de cicadélidos capturados y mejores valores de índices de diversidad y dominancia de géneros de cicadélidos en lotes de producción de *D. marginata* (índice de Shannon y Weaver, e índice de Simpson).

La atracción de insectos a la reflexión espectral ofrecida por las trampas de color amarillo ha sido obtenida por muchos investigadores en diversidad de especies (Hall et ál. 2007). El color amarillo actúa como un estimulante físico o mecánico que determina el comportamiento de algunos insectos. Esto es denominado como control etológico, aprovechado para trampear y hacer control de poblaciones plaga (Hall et ál. 2007). A su vez,

se ha reportado que muchas especies de cicadélidos son atraídas y capturadas por las trampas con tonos amarillos (Kersting et ál. 1997, Chu et ál. 2000, Boll y Herrmann 2004, Tipping et ál. 2004).

Tipping et ál. (2004) evaluaron la eficiencia en captura de cicadélidos con diferentes tonalidades del color amarillo, obteniendo el amarillo brillante (traducción de safety yellow) como mejor atrayente para los géneros *Homalodisca* sp. y *Oncometopia* sp. Además, Chu et ál. (2000) estudiaron la captura de cicadélidos bajo trampas tipo CC con bases de distintos colores obteniendo mayor captura de cicadélidos en bases de color amarillo, verde lima y verde primavera. Otros géneros de cicadélidos que responden a la captura con trampas pegajosas de color amarillo son: *Macrosteles* sp., *Norvelina* sp., *Paraphlepsis* sp., *Erythoneura* sp., *Exitianus* sp. (Lessio y Alma 2004), *Asymmetrasca* sp. (Kersting et ál. 1997) y *Empoasca* sp. (Kersting et ál. 1997, Chu et ál. 2000, Boll y Herrmann 2004). La atracción del color amarillo en los géneros *Oncometopia* sp. y *Empoasca* sp. es de gran utilidad por tratarse de géneros de cicadélidos importantes en las producciones de *D. marginata* producto de la oviposición de sus masas de huevos en el follaje de los *tips* de exportación.

La eficiencia de los tonos amarillo intenso y amarillo ofrecido por el mercado en la captura de cicadélidos también se vio reflejada en tonos amarillos como Alegría, Texas, Pleno Sol y Rayo de Sol de la marca de pinturas SUR. Estos tonos fueron eficaces en la captura de cicadélidos en los lotes de producción de *D. marginata*; pero no en la captura de cicadélidos importantes. Esto porque se halló relación entre la captura del género *Oncometopia* sp. con la tonalidad del amarillo intenso en las trampas pegajosas, relación que no se encontró para el caso de otros géneros como *Empoasca* sp., *Caldwelliola* sp. y *Diestostemma* sp. (géneros crípticos en los lotes de producción de *D. marginata*) que se pueden capturar con las trampas bajo cualquier tonalidad del amarillo expuestos anteriormente. Por lo anterior, las trampas pegajosas amarillas (comerciales o amarillo intenso), poseen más control entológico con respecto a los demás tonos de amarillos en la captura de cicadélidos claves.

Para un buen monitoreo de la población de cicadélidos con trampas pegajosas en lotes de producción de *D. marginata* hay que tener en cuenta otros factores además del tono, la posición y altura de las trampas en los lotes de producción. Esto porque se reportado que las trampas pegajosas de color amarillo capturan menor número de cicadélidos con respecto a

otros tipos de trampas (Kersting et ál. 1997). Un factor que ha sido utilizado para mejorar la captura de cicadélidos con trampas pegajosas es el olor de la planta hospedera. Este olor realza la sensibilidad del cicadélido a las señales visuales (Patt y Sétamou 2007). Este efecto olfativo se debe de considerar para futuras investigaciones porque la atracción visual a tonos amarillos se conoce; pero no se ha demostrado el comportamiento de los cicadélidos a estimulantes olfativos.

El rol de otras plantas hospederas (malezas) en los campos de producción de *D. marginata* es importante para la captura de cicadélidos. Esto porque la mayor diversidad de cicadélidos se obtiene en alturas menores a los 50 cm (Ramos 2007). En estas alturas se encuentra mayor diversidad estructural lo que beneficia un microclima favorable para el desarrollo causado por la gama de malezas. Donde muchas de estas malezas pueden ser hospederas y/o ricas en nutrientes para la alimentación y refugio (Hidalgo 1999, Blua y Morgan 2003, Ramos 2007).

Además de los factores descritos con anterioridad, se puede pensar en aumentar el tiempo de permanencia de la trampa en los sistemas de producción. Esto podrá capturar mayor diversidad y número de insectos claves (cicadélidos) para identificación y estudios biológicos por la importancia económica de la plaga y para mejorar las técnicas de muestreo.

Las trampas pegajosas de color amarillo intenso son eficientes para la captura de cicadélidos. Estas trampas son una herramienta eficiente, fácil de usar, de servicio rápido y de bajo costo de elaboración para la captura de cicadélidos en lotes de producción de *D. marginata* dando como resultado una trampa específica para estos insectos plaga y un instrumento de control para los productores con bajos recursos económicos. Este instrumento se puede combinar con observaciones visuales en los follajes de producción para realizar monitoreos constantes de poblaciones de cicadélidos crípticos. Por otra parte, el uso las trampas con coloración amarilla permite no solo capturar cicadélidos sino también a muchos de sus enemigos naturales como los parasitoides (Boll y Herrman 2004), por lo que pueden ser usadas para la evaluación conjunta de estas poblaciones.

3.5 Conclusiones

El color amarillo fue el mejor de los colores evaluados para la captura de cicadélidos.

Las trampas pegajosas de color amarillo intenso en esmalte resultaron ser tan eficientes como las trampas comerciales para la captura de cicadélidos.

Las trampas pegajosas de color amarillo intenso en esmalte capturaron mayor diversidad de géneros de cicadélidos respecto a las comerciales.

Existe relación entre varios géneros de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas y el tono de la trampa pegajosa. Caso específico el género *Oncometopia* sp. y el tono amarillo intenso, y el género *Empoasca* sp. con el tono ofrecido por las trampas comerciales.

Existe mayor diversidad de géneros de cicadélidos en alturas menores a los 50 cm en los lotes de producción de *D. marginata*, independientemente de la orientación de la trampa pegajosa.

Si bien la captura de cicadélidos fue similar en las tres posiciones evaluadas, la mayor diversidad de géneros fue encontrada en la posición paralela a las hileras del cultivo.

3.6 Recomendaciones

Se debe de utilizar las trampas pegajosas láminas de acetatos con tonalidad amarillo intenso con posición paralela a las hileras de producción y en las dos alturas para el monitoreo y control de los insectos plaga, cicadélidos. Estas presentan facilidad de elaboración y menores costos que las ofrecidas por el mercado.

Se podría mejorar la eficiencia de las trampas pegajosas con la combinación de un factor olfativo (olor de la planta hospedera). Esta combinación debe ser considerada para futuras investigaciones por desconocer el comportamiento de estos insectos a estimulantes olfativos.

Estudiar el efecto de las trampas pegajosas con color amarillo o amarillo intenso sobre las poblaciones de parasitoides de masas de huevos de cicadélidos en los lotes de producción de *D. marginata*.

3.7 Bibliografía

- Bextine, BR; Harshman, D; Johnson, MC; Millar, TA. 2004. Impact of pymetrozine on glassy-winged sharpshooter feeding behavior and rateo *Xylella fastidiosa* transmission. Journal of Insect Science. 4 (34): 1-6.
- Blua, MJ; Morgan, DJ. 2003. Dispersion of *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae) a vector of *Xylella fastidiosa* in Southern California. Journal of Economic Entomology. 96 (5): 1369-1373.
- Boll, S; Herrmann, JV. 2004. A long-term study on the population dynamics of the grape leafhopper (*Empoasca vitis*) and antagonistic mymarid species. Journal of Pest Science. 77 (1): 33-42.
- Chu, CC; Pinter, PJ; Henneberry, TJ; Umeda, K; Natwick, ET; Wei, YA; Reddy, VR; Shrepatis, M. 2000. Use of CC traps with different trap base colors for silverleaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae), thrips (Thysanoptera: Thripidae), and leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). Journal of Economic Entomology. 93 (4): 1329-1337.
- de Coll, O; Remes, M; Agostini, J; Paradell, S. 1998. Bases para la discusión acerca del manejo integrado de los *Homópteros auquenorrincos* potenciales vectores de CVC en Citrus. In: XIV Conferencia de IOCV. Brazil. Campinas SP. 14 p.
- Colpetzer, K. 2005. Importation of oversized *Dracaena* for ornamental purposes from Costa Rica into the United States: a qualitative Pathway- Initiated Risk Assessment. 96 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2005. Innovación tecnológica para la generación de material propagativo sano de *Dracaena marginata* Para el mercado de exportación estadounidense. San José. Costa Rica. 83 p.

- Dughetti, A. s.f. Estudio de *Delia* spp, mediante el monitoreo con diferentes tipos de trampas. EEA INTA Hilario Acasubi. Buenos Aires. Argentina. 7 p.
- Galindo, R; Español, J. 2001. Trampas de caída tipo malla y trampas pegajosas para la evaluación de adultos de gusano blanco *Premnotrypes vorax* (HUSTACHE) y polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (POVOLNY) en condiciones de campo. CORPOICA–Tibaitatá. Bogotá. Colombia. 4 p.
- Hall, DG; Hentz, MG; Ciomperlik, MA. 2007. A comparison of traps and stem tap sampling for monitoring adult asian citrus psyllid (Hemiptera: Psyllidae) in citrus. Florida Entomologist. 90 (2): 327-334.
- InfoStat. 2004. *InfoStat, Versión 2004*. Manual de usuario. Grupo InfoStat, FCA. Editorial Brujas. Córdoba. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. 318 p.
- InfoStat 2007. *InfoStat Versión Profesional 2007p*. Grupo InfoStat, FCA. Córdoba. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.
- Instituto Meteorológico Nacional. 2007. Clima de Costa Rica. (En línea). Consultado 1 de may. 2007. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr>
- Kersting, U; Baspinar, H; Uygun, N; Satar, S. 1997. Comparison of two sampling methods for leafhoppers (Homoptera, Cicadellidae) associated with sesame in the east mediterranean region of Turkey. Journal of Pest Science. 70 (7): 131-135.
- Lessio, F; Alma, A. 2004. Dispersal patterns and chromatic response of *Scaphoideus titanus* Ball (Homoptera: Cicadellidae), vector of the phytoplasma agent of grapevine flavescence dorée. Agricultural and Forest Entomology. 6: 121-127.
- Liu, TX; Chu, CC. 2004. Comparison of absolute estimates of *thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae) whit field visual counting and sticky traps in onion field in South Texas. Southwestern Entomologist. 29 (2): 83-89.

- Nicholls, CI. 2001. Manipulando la biodiversidad vegetal para incrementar el control biológico de insectos plaga: un estudio de caso de un viñedo orgánico en el Norte de California. Ediciones Científicas Americanas ISBN. Estados Unidos. 20 p.
- Patt, JM; Sétamou, M. 2007. Olfactory and visual stimuli affecting host plant detection in *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae). *Environmental Entomology*. 36 (1): 142-150.
- Prokopy, R; Owens, D. 1983. Visual detection of plants by herbivorous insects. *Journal Entomology*. 28: 337-364.
- Ramos, M. 2007. The effect of local landscape context on leafhopper communities (Hemiptera: Cicadellinae) in coffee farms. Doctoral thesis (unpublished). Costa Rica – United States. CATIE – University Idaho.
- Risco, B; Sierra, E; Golmirzaire, A; Tenorio, J; Palacios, M; Raman, K. 1999. Control de *Liriomyza huidobrensis blanchard* (Diptera: agromyzidae) con trampas pegajosas fijas y móviles en el cultivo de papa en Ica, Perú. Lima. Perú. 19 p.
- Tipping, C; Mizell III, RF; Andersen, PC. 2004. Dispersal adaptations of immature stages of three species of leafhopper (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). *Florida Entomologist*. 87 (3): 372-379.
- Tipping, C; Mizell, R.F. 2004. Sharpshooters, Leafhoppers, Cicadellidae (Insecta: Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). ENY-334. 8 p.
- Tomeu, B. 1990. Estudio de factibilidad para la producción y exportación de tres tipos de plantas ornamentales (*Aglaonema* sp. *Dracaena marginata* y *Yuca elephantipes*) al Mercado Norteamericano. Tesis de licenciatura en economía agrícola. San José. Costa Rica. UCR. 132 p.
- Torres, J; de Mendoza, H; Garrido, A; Jacas, J. 2000. Estudio de Cicadélidos (Homoptera: Cicadellidae) que afectan a diferentes especies de árboles del género *Prunus*. *Boletín de sanidad vegetal*. 26 (4): 645-656.

Yamamoto, PT; Pría WD; Rufo, SR; Rogério, MF; de Freitas, EP. 2001. Flutuação populacional de Cigarrinhas (Hemiptera: Cicadellidae) em pomar cítrico em formação. *Neotropical Entomology*. 30 (1): 175-177.

4 ARTÍCULO 2: Aproximaciones de cálculo de muestreo secuencial

4.1 Introducción

El estudio de las densidades poblacionales de insectos se obtiene bajo un recuento total de los individuos, es decir un censo poblacional. Este censo arroja el conocimiento exacto de la densidad poblacional (Trumper 2004). Pero hoy en día los conteos totales de las poblaciones en cultivos son impracticables, de modo que se debe recurrir a la estrategia de muestreo (Barfield 1989). El muestreo es una actividad cuyo objetivo es estimar los parámetros poblacionales con un conjunto de unidades (menor a la población total) y un determinado nivel de error (Trumper 2004).

Aunque la técnica de muestreo sea una herramienta útil en estimaciones de parámetros en el estudio de poblaciones, en muchas ocasiones se deben usar planes de muestreo que permitan adoptar decisiones rápidas, inspeccionando el menor número de unidades muestrales. A esto es lo que se conoce como planes secuenciales de muestreo o muestreo secuencial (Acuña 2002). Su principal característica es que no tienen un tamaño fijo de muestra (Cuadros 2004).

El muestreo secuencial fue introducido por Wald en los años 40 (Binns et ál. 2000), y según Casanoves y Di Rienzo (2006), fue extendido por Iwao en 1975. Inicia con un tamaño mínimo de muestra, el cual va aumentando según el plan de muestreo fijado y el conteo de números de eventos acumulados (conteo de insectos, hojas con insectos, hojas atacadas, entre otros) observados en el muestreo secuencial (Casanoves y Di Rienzo 2006).

El muestreo secuencial tiene como objetivo estimar las densidades plaga en varias categorías de decisión (Barfield 1989), donde se debe decidir si la densidad de la población está por encima o por debajo del nivel crítico. Si los primeros promedios de unas pocas muestras están por debajo del nivel crítico no será necesario tomar más muestras para concluir que la densidad (grado de infestación) es baja. Inversamente, si el promedio es mayor a la densidad crítica se puede concluir que la densidad es alta; pero si las primeras muestras

promedian cerca de la densidad crítica, será necesario continuar muestreando para poder tomar una decisión segura (Cuadros 2004).

En la actualidad hay muchos programas estadísticos con distintas metodologías que desarrollan los planes de muestreo secuencial. Al existir diferencias entre los métodos de los programas estadísticos es fundamental poder diferenciar las ventajas y desventajas de estos programas. Así, este estudio tiene como objetivo comparar el comportamiento de distintas aproximaciones para el cálculo de planes de muestreo secuencial en dos programas estadísticos, el Remuestreo para Análisis y Validación de Planes de Muestreo Enumerativos y Binomiales (RVSP, siglas en inglés) (Naranjo y Hutchison 1997), y el programa muestreo secuencial *SeqSam* (Casanoves y Di Rienzo 2006).

4.2 Materiales y métodos

En las aproximaciones para el cálculo de planes de muestreo secuencial se utilizó dos programas estadísticos. Uno de los programas estadísticos actúa con dos planes de muestreo secuencial de precisión fija (planes Green y Kuno), y con dos planes de muestreo basados en conteos binomiales (plan de Wald (SPRT) y plan de muestreo de tamaño fijo) (Naranjo y Hutchison 1997). El segundo programa estadístico que se utilizó trabaja con la metodología propuesta por Iwao; pero utilizando las estimaciones de los parámetros de las distribuciones de conteos (Casanoves y Di Rienzo 2006).

4.2.1 RVSP

La versión actual del programa Remuestreo para Análisis y Validación de Planes de Muestreo Enumerativos y Binomiales (RVSP, siglas en inglés) se utilizó para evaluar el plan de muestreo sobre la estimación de parámetros. Esto de acuerdo a la metodología del plan de conteos binomiales de Wald (SPRT). Esta metodología genera una selección aleatoria de las observaciones en un modo real cuando la regla secuencial llega a estar satisfecha y un número fijo de muestras es exhausto ($n = 500$) (Naranjo y Hutchison 1997).

Para esto se fijaron valores de los errores tipo I y II en 10% ($\alpha = \beta = 0,10$). La proporción de infestación (*Action Threshold*, en inglés) fue de 50%, los límites superior e

inferior para la proporción de infestación fueron 60 y 40% respectivamente. Esto se llevó a cabo porque la metodología del programa exige definir los anteriores valores para aceptar el cálculo de parámetros muestrales (Naranjo y Hutchison 1997).

4.2.2 *SeqSam*

El programa estadístico *SeqSam* se utilizó en la obtención de curvas de decisión para el muestreo secuencial. Este programa permite decidir si el número medio de eventos (número de conteos) del área de estudio supera o se encuentra por debajo de una densidad crítica previamente establecida. Además, se puede obtener las curvas de potencia para el cálculo del tamaño mínimo de muestra (*Nmin*). Este tamaño de muestra depende de la estimación del verdadero valor de la media poblacional de los datos del estudio. El valor del tamaño mínimo de muestra se adquiere con una potencia razonable (mayor al 80%). Así el tamaño máximo de muestra se encuentra cuando la potencia esta entre el 80 y 90% (Casanoves y Di Rienzo 2006).

4.2.3 *Comparación de programas*

Con los anteriores programas estadísticos se obtuvieron los criterios de decisión sobre la población de estudio. Esto permitió una comparación de resultados como: la densidad crítica, tamaño mínimo o tamaño máximo de la muestra, con dos programas que actúan bajo diferentes distribuciones estadísticas. La validez y confiabilidad de ambos resultados se compararon de modo empírico, al evaluar cual de los dos programas estadísticos da menor error de estimación en los parámetros de la población, y cual ajusta mejor las curvas de decisión con respecto a la verdadera distribución de los datos.

4.2.4 *Simulación de datos*

Para la simulación de datos se empleó el programa estadístico InfoStat (versión 2007p). Este programa posee una amplia lista de distribuciones de variables aleatorias que permiten simular datos con algunas especificaciones (parámetros poblacionales).

La distribución que se utilizó para generar los datos aleatorios fue la distribución Binomial. Esta distribución tiene origen cuando ocurren las siguientes condiciones en forma

simultánea: a) se realizan n ensayos Bernoulli, b) el parámetro p (probabilidad de “éxito”) se mantiene constante entre ensayos y c) los ensayos son independientes entre sí.

De acuerdo con Casanoves y Di Rienzo (2006), las variables binomiales con parámetros m, n se denotan como: $Y \sim Bin(m, n)$ y su función de probabilidad esta dada por:

$$p(Y = y | m, n) = C(n, y) \left(\frac{m}{n}\right)^y \left(1 - \frac{m}{n}\right)^{1-y}, \quad y = 0, 1, \dots, n.$$

donde: $C(n, y) = \frac{n!}{y!(n-y)!}$ y representa el número de formas posibles de tomar y elementos de un grupo de n .

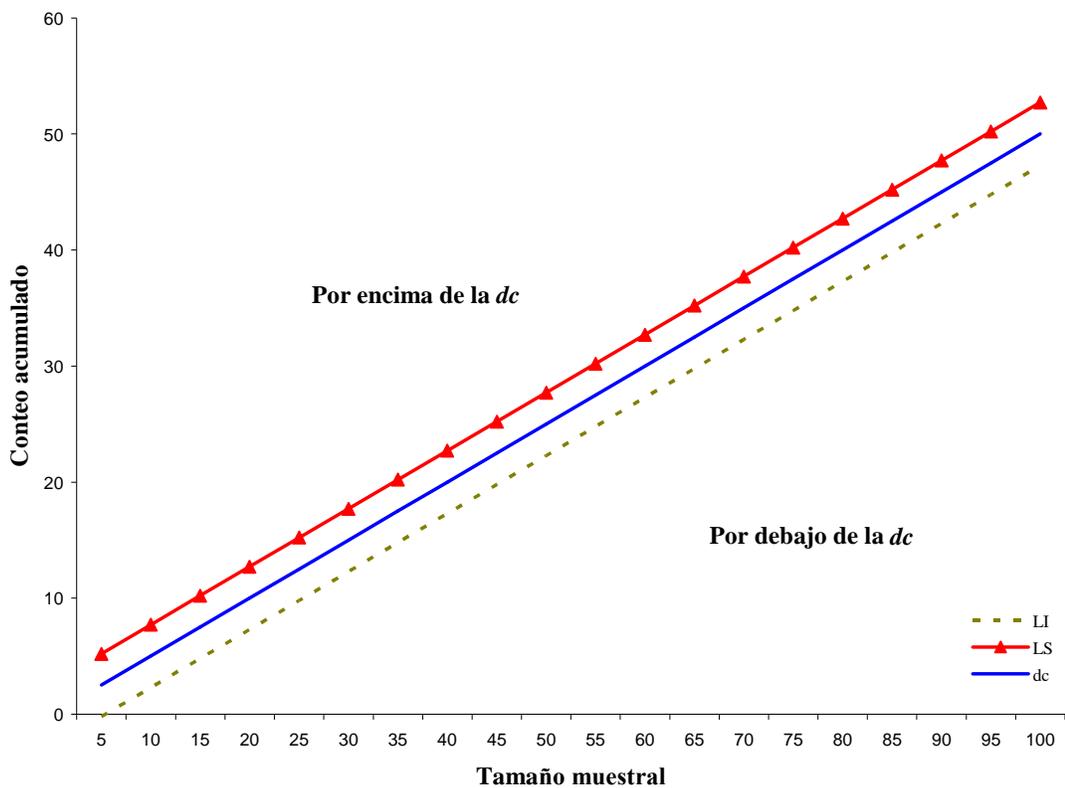
De acuerdo a la metodología del programa estadístico InfoStat, se logró generar conjuntos de datos para cada proporción de éxito de la variable binomial (p). Los valores de esta proporción fueron de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90%. Cada proporción contó con dos conjuntos de datos de 100 simulaciones cada una. Estos conjuntos de datos fueron utilizados en ambos programas.

4.3 Resultados

El total de datos simulados para la comparación de los programas estadísticos RVSP y *SeqSam* presentaron una proporción media de éxito igual a 0,4867 y la varianza fue de 0,1828.

4.3.1 RVSP

El análisis obtenido por el RVSP dio un valor de pendiente 0,5. Los valores de los intercepto superior e inferior fueron de $\pm 2,71$. Con un número mínimo, promedio y máximo de muestra de 10, 17 y 45 unidades muestrales, respectivamente (Anexo 1). Al establecer valores de tamaño de muestra (de 10 a 100 unidades muestrales) se logró realizar las curvas de decisión del muestreo secuencial (Figura 10).

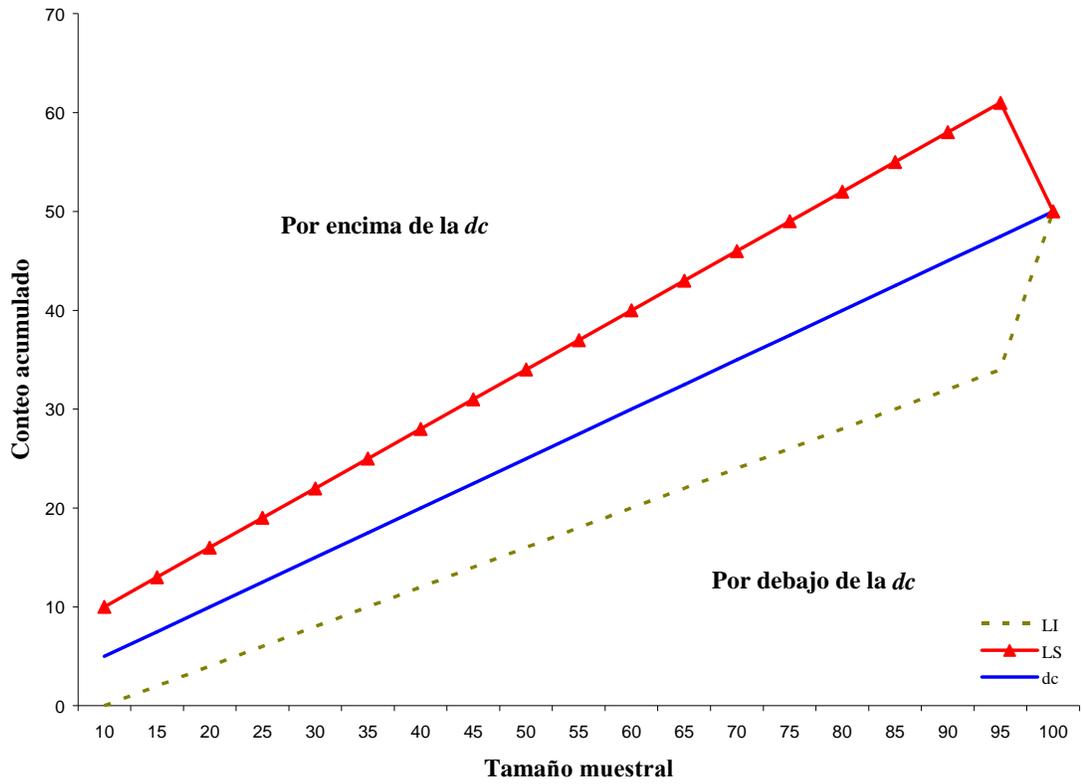


LI: límite inferior
 LS: límite superior
 dc: densidad crítica

Figura 10. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial por RVSP para una distribución Binomial (m, n)

4.3.2 SeqSam

Con el programa SeqSam se logró construir las curvas de decisión para los mismos conjuntos de datos y con distintos valores de medias de conteos de la población (proporción para el cálculo de potencia) (Figura 11 y Cuadro 9). A su vez, se obtuvieron las respectivas curvas de potencia de cada media de conteos de la población de estudio (Figura 12).



LI: límite inferior
 LS: límite superior
 dc: densidad crítica

Figura 11. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial por SeqSam para una distribución Binomial (m, n).

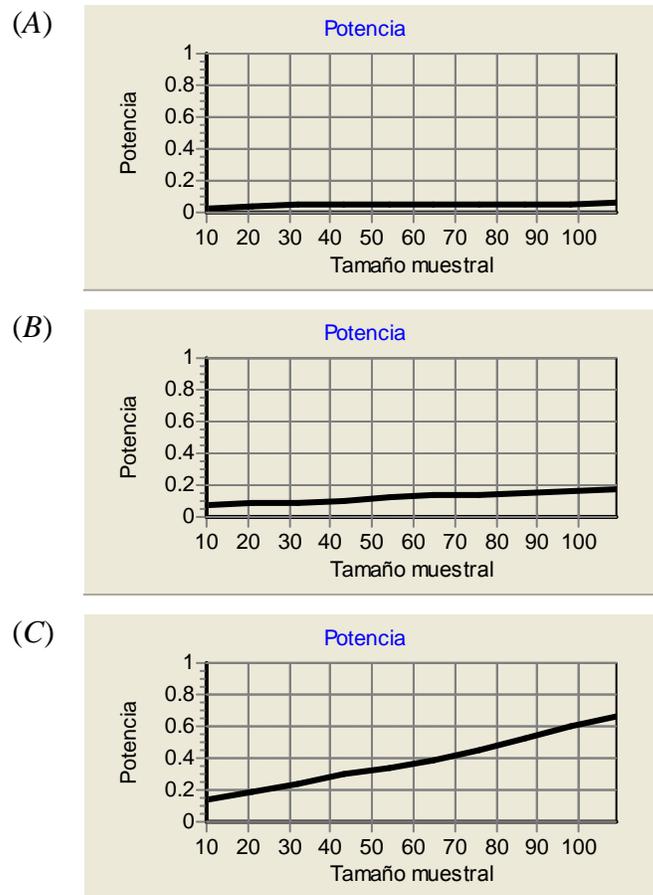


Figura 12. Curvas de potencia de plan de muestreo secuencial con media poblacional (A) 0,48; (B) 0,55 y (C) 0,60.

Cuadro 9. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con media poblacional (A) 0,48; (B) 0,55 y (C) 0,60

(A)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	1	5	8	0,03
21	6	11	15	0,04
32	10	16	21	0,04
43	15	21	27	0,05
54	20	27	34	0,05
65	24	33	40	0,05
76	29	38	46	0,05
87	34	43	52	0,05
98	39	49	58	0,05
109	55	55	55	0,06

(B)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	1	5	8	0,07
21	6	10	14	0,08
32	10	16	21	0,09
43	15	21	28	0,11
54	19	27	34	0,12
65	24	33	40	0,13
76	29	38	46	0,14
87	33	43	52	0,15
98	38	49	58	0,16
109	54	54	54	0,17

(C)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	2	5	8	0,14
21	6	10	14	0,19
32	10	16	21	0,24
43	14	21	28	0,30
54	19	27	34	0,34
65	23	33	40	0,39
76	28	38	46	0,45
87	33	43	52	0,52
98	38	49	58	0,59
109	55	55	55	0,67

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior

M: Media

LS: Límite superior

Pot: Potencia

4.4 Discusión

La comparación de distintas metodologías en el análisis de desarrollo de planes de muestreo secuencial permitió establecer diferencias entre los métodos de dos programas estadísticos, RVSP y *SeqSam*. Estos programas tienen como finalidad establecer curvas de decisión con respecto a una densidad crítica o umbral de acción de conteos en poblaciones plaga bajo el operador característico y la potencia respectivamente.

Según Binns et ál. (2000), Wald definió planes de muestreo secuencial para conteos con distribuciones Poisson, Binomial, Binomial Negativa y Normal; pero el programa RVSP establece planes de muestreo secuencial únicamente para conjuntos de datos con ajuste a la distribución Binomial (Naranjo y Hutchison 1997). Por otro lado, el programa *SeqSam* logra realizar las curvas de decisión del muestreo secuencial para conteos con ajuste a las distribuciones Poisson, Binomial, Binomial Negativa y Beta Binomial (Casanoves y Di Rienzo 2006).

La limitación de actuar bajo una única distribución estadística en el desarrollo de planes de muestreo secuencial, como lo es el caso del programa RVSP, realiza las suposiciones que según Barfield (s.f), obstaculizan la utilidad de las curvas de decisión en programas de Manejo Integrado de Plagas (MIP). Estas suposiciones son: que el patrón de dispersión de los organismos a muestrear (distribución espacial) es fijo, y que la varianza es estable con respecto a la densidad media de los conteos plaga (o sea, que no fluctúa mucho). Suposición incorrecta especialmente en poblaciones con patrones de dispersión espacial de modo agregada. Cuando una población posee un tipo de distribución espacial agregada se ajusta mejor a las distribuciones estadísticas Binomial Negativa o/y Beta Binomial (Trumper 2004, Binns et ál. 2000).

Aun así, para el caso de estudio los dos programas tuvieron la misma esperanza como resultado en los planes de muestreo secuencial; pero a diferencia de las curvas obtenidas por el RVSP, el *SeqSam* elaboró curvas de decisión asimétricas. Las curvas de decisión asimétricas se obtienen al trabajar con la distribución real de los datos en la elaboración de las mismas. Caso contrario es lo que sucede cuando se establece una función aritmética con misma distancia entre los parámetros de la pendiente y los intercepto superiores e inferiores. Esta

asimetría se debe a que en los conteos la varianza en general aumenta conforme aumenta la media (Taylor 1984).

Además, el programa *SeqSam* permite crear curvas de decisión para distintos valores de la media de conteos poblacionales, obteniendo distintas curvas de potencia de los planes de muestreo secuencial. Esto permite obtener tamaños de muestra con mayores cálculos de potencia en la estimación de los verdaderos parámetros poblacionales y poca variación en los límites superiores e inferiores de las curvas.

Por último, el programa *SeqSam* no requiere de estimaciones de parámetros previos al análisis, salvo el necesario para obtener la mejor distribución estadística para los conteos de insectos. En cambio, el programa RVSP requiere de estimaciones previas basadas en la ley de Taylor (Naranjo y Hutchison 1997), lo que implica obtener al menos dos conjuntos de muestras para luego ajustar una regresión con transformación logarítmica y así estimar los parámetros iniciales.

4.5 Conclusiones

Existen varios programas estadísticos que ayudan a la elaboración de las curvas de decisión del muestreo secuencial; pero no todos los programas permiten trabajar con la verdadera distribución de la población de estudio sino con aproximaciones de otras distribuciones teóricas (Ej. normal).

Cada población plaga cuenta con una distribución espacial en su hábitat. Esta distribución espacial esta asociada al menos una distribución estadística de conteos como Poisson, Binomial, Binomial Negativa, Beta Binomial, por mencionar algunos. El trabajar con aproximaciones a otras distribuciones en lugar de la verdadera, hará que los investigadores o productores caigan en subestimaciones o sobreestimaciones de los verdaderos parámetros poblacionales en las zonas de decisión del muestreo secuencial.

Debido a la relación existente entre las medias y las varianzas de los conteos, el uso de aproximaciones normales para construir límites de confianza puede ser inapropiado en la mayoría de los casos de estudios de poblaciones de insectos.

4.6 Recomendaciones

Utilizar el programa *SeqSam* en la elaboración de las curvas de decisión para el control de plagas en los *tips* de *D. marginata* por actuar sobre la verdadera distribución de los datos de las poblaciones de estudio (escamas, moluscos, masas de huevos de tetigónidos y/o cicadélidos). Este programa permite realizar las curvas de decisión con gran facilidad en manejo y en presentación de resultados. Además no requiere de un número de muestras excesivo como otros programas estadísticos con la misma finalidad.

El *SeqSam* permite obtener mayores cálculos de potencia en la estimación de los verdaderos parámetros poblacionales y poca variación en los límites superiores e inferiores de las curvas de decisión de los planes de muestreo.

4.7 Bibliografía

- Acuña, J. 2002. Control de calidad: un enfoque integral y estadístico. Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 688 p.
- Barfield, C. 1989. El muestreo en el manejo integrado de plagas. *In*: Andrews, K; Rutilio, J. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: estado actual y futuro. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano. 623 p.
- Binns, M; Nyrop, J; van der Werf, W. 2000. Sampling and monitoring in crop protection: The Theoretical Basis for Developing Practical Decision Guides. CAB International, United Kingdom. 284 p.
- Casanoves, F; Di Rienzo, J. 2006. SeqSam, un programa para la elaboración de planes de muestreo secuencial. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 77: 94-101.
- Cuadros, L. 2004. Diagnostico y evaluación de plagas insectiles y otros. Dirección General de Sanidad Vegetal. Arequipa. Perú. 18 p.
- InfoStat 2007. *InfoStat Versión 2007p*. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA. Editorial Brujas. Córdoba. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. 318 p.

- Iwao, S. (1975). A new method of sequential sampling to classify populations relative to a critical density. *Researches on Population Ecology*. 16: 281-288.
- Naranjo, S; Hutchison, W. 1997. Validation of arthropod sampling plans using a Resampling approach: software and analysis. *American Entomologist*. 43: 48-57.
- Taylor, LR. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annual Review of Entomology* 29: 321-359.
- Trumper, E. 2004. Base para el diseño de muestreo de plagas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (En línea). Consultado 26 jul. 2006. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar>

Anexo I. Medidas resumen de plan de muestreo secuencial por RVSP para una distribución Binomial (m, n)

Estadísticas observadas				Estadísticas promedio sobre 500 simulaciones								
Archivo de datos	PI*	Media	N*	PI	PI mx	PI mn	PI-SD	N	N mx	N mn	N-SD	OC
Bin (0,1)	0,1000	0,1000	100	0,0950	0,2860	0,0000	0,0820	10,0000	14,0000	10,0000	0,6000	1,0000
Bin (0,1)	0,0700	0,0700	100	0,0670	0,3130	0,0000	0,0730	10,0000	16,0000	10,0000	0,4000	1,0000
Bin (0,2)	0,2500	0,2500	100	0,2170	0,4060	0,0000	0,1010	13,0000	32,0000	10,0000	4,4000	1,0000
Bin (0,2)	0,1500	0,1500	100	0,1420	0,3640	0,0000	0,0910	11,0000	22,0000	10,0000	1,6000	1,0000
Bin (0,3)	0,3700	0,3700	100	0,3260	0,8000	0,0000	0,0980	21,0000	64,0000	10,0000	10,7000	0,9860
Bin (0,3)	0,2600	0,2600	100	0,2330	0,4120	0,0000	0,0940	13,0000	34,0000	10,0000	4,4000	1,0000
Bin (0,4)	0,3000	0,3000	100	0,2500	0,4250	0,0000	0,0990	15,0000	40,0000	10,0000	6,1000	1,0000
Bin (0,4)	0,4200	0,4200	100	0,3710	0,8000	0,0000	0,1200	29,0000	86,0000	10,0000	17,3000	0,9400
Bin (0,5)	0,5400	0,5400	100	0,5690	0,9000	0,1000	0,1390	37,0000	98,0000	10,0000	23,6000	0,1820
Bin (0,5)	0,3600	0,3600	100	0,3040	0,9000	0,0000	0,1050	19,0000	64,0000	10,0000	10,0000	0,9940
Bin (0,6)	0,6300	0,6300	100	0,6910	1,0000	0,2000	0,1100	20,0000	66,0000	10,0000	10,4000	0,0120
Bin (0,6)	0,6000	0,6000	100	0,6480	1,0000	0,2000	0,1190	25,0000	70,0000	10,0000	14,3000	0,0420
Bin (0,7)	0,6500	0,6500	100	0,6890	1,0000	0,2000	0,1070	19,0000	56,0000	10,0000	9,5000	0,0180
Bin (0,7)	0,6700	0,6700	100	0,7110	1,0000	0,2500	0,0950	18,0000	56,0000	10,0000	8,5000	0,0020
Bin (0,8)	0,7600	0,7600	100	0,7750	1,0000	0,5880	0,0910	13,0000	34,0000	10,0000	4,1000	0,0000
Bin (0,8)	0,8200	0,8200	100	0,8310	1,0000	0,6250	0,0880	11,0000	24,0000	10,0000	2,1000	0,0000
Bin (0,9)	0,9300	0,9300	100	0,9300	1,0000	0,7140	0,0720	10,0000	14,0000	10,0000	0,3000	0,0000
Bin (0,9)	0,8800	0,8800	100	0,8780	1,0000	0,6500	0,0860	10,0000	20,0000	10,0000	1,1000	0,0000

Bin (i): Conjunto de datos binomiales con i-ésima proporción de éxito

PI*: Proporción de infestación de datos originales

N*: Número de datos originales

PI: Proporción de infestación de las 500 iteraciones

mx: Máximo

mn: Mínimo

SD: Desviación estándar

N: Mínimo número de muestra de las 500 iteraciones

OC: Probabilidad de no tomar una acción

5 ARTÍCULO 3: Densidades de poblaciones plaga en lotes de producción de *D. marginata* y empacadoras

5.1 Introducción

En Costa Rica una especie de planta ornamental ampliamente cultivada es la *Dracaena marginata*. Esta especie posee gran demanda de exportación principalmente en mercados de Europa, Japón y los Estados Unidos (CSP⁶ 2005). A su vez, los productores costarricenses de este cultivo tienen como desafío mejorar las condiciones fitosanitarias de la planta, principalmente en el control de insectos plaga, que repercutirá en la disminución del número de intercepciones por plagas cuarentenarias en los puertos de Estados Unidos. Estas intercepciones son las que amenazan con el cierre del mercado si no se disminuye el nivel de plagas en los embarques de exportación (CSP 2005).

Lo anterior es un difícil desafío para los productores costarricenses por el número de plagas adjudicadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, siglas en inglés) a los *tips* de exportación de *D. marginata*. Este departamento adjudica más de 60 plagas cuarentenarias (Artrópodos, Nematodos, Hongos y Moluscos) a las plantas ornamentales dracaenas (Colpetzer 2005). Además este cultivo funciona de hospedero de varias especies de la familia *Cicadellidae* consideradas plagas cuarentenarias en los puertos de los Estados Unidos por la oviposición de masas de huevos en el follaje de los *tips* de producción (CSP 2006).

Para disminuir el número de intercepciones en los embarques de dracaenas en los puertos de Estados Unidos, es necesario mejorar el control de las plagas cuarentenarias en los campos de producción y en las zonas de embalaje del material a exportar (empacadoras). El mejorar el control de plagas requiere conocer la relación de las poblaciones plaga en los lotes de producción de *D. marginata* y en las empacadoras; pero para poder disminuir las cantidades de plagas en los embarque es necesario realizar buenos planes de manejo tanto en los lotes de producción como en las empacadoras del producto. Esta investigación tiene como objetivo conocer la relación de las poblaciones plaga cicadélidos, tetigónidos, moluscos y

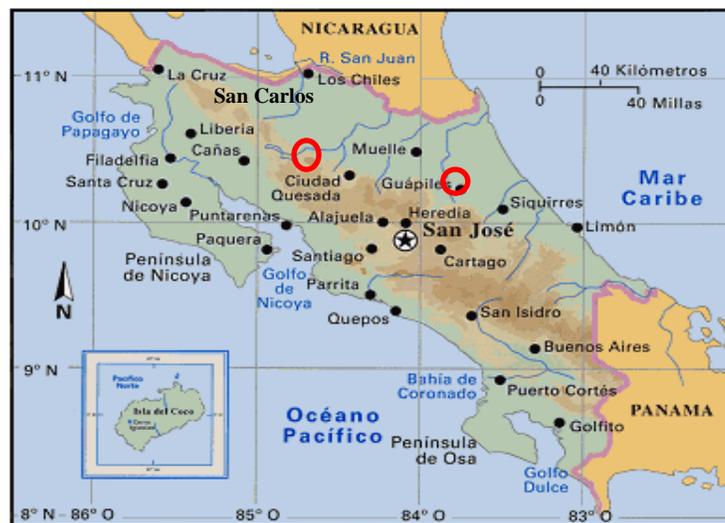
⁶ Clean Stock Program. Proyecto *Dracaena*.

escamas en los lotes de producción y empacadoras de *D. marginata*, con la finalidad de dar a los productores mejores herramientas en el manejo de plagas.

5.2 Materiales y métodos

5.2.1 Área de estudio

Esta investigación es de tipo cuantitativa y se llevó a cabo en la zona Norte y en la zona del Caribe de Costa Rica (Figura 13). En la zona Norte se trabajó a nivel de campo en fincas de producción que pertenecen a los distritos de La Tigra y Bajo Rodríguez del cantón de San Carlos, de la provincia de Alajuela. A nivel de empacadora el estudio estuvo ubicado y dirigido en el distrito de Bajo Rodríguez. El trabajo de campo de la zona del Caribe se llevó a cabo en fincas que pertenecen al distrito de Roxana del cantón de Pococí, y el trabajo de empacadora se realizó en el distrito de Guápiles del mismo cantón, distrito que pertenece a la provincia de Limón.



Fuente: www.guiascostarica.com/mgeo1.gif

Figura 13. Ubicación de las zonas de estudio en el Caribe (Guápiles y Roxana) y la Región Huetar Norte (La Tigra y Bajo Rodríguez) costarricense.

Según la descripción del Instituto Meteorológico Nacional (2007), el cantón de Pococí posee una altitud promedio de 262 msnm, una temperatura promedio de 25 °C, la radiación

solar tiene un promedio de 6 horas luz y una precipitación promedio anual de 4500 mm. En San Carlos, zona norte de Costa Rica, la altitud promedio es de 170 msnm, la temperatura promedio es de 25 °C, la radiación solar tiene un promedio de 5 horas luz y una precipitación promedio anual de 3500 mm.

5.2.2 Variedades de estudio de *Dracaena marginata*

El estudio se basó en el muestreo de plagas cuarentenarias en lotes de producción de *Dracaena marginata* en las variedades verde, magenta y bicolor. Se trabajó en estas variedades porque son las que poseen mayor porcentaje de intercepciones (54, 21,6, y 19,6% respectivamente⁷) realizadas en los Estados Unidos en el período de octubre del 2005 a agosto del 2006. Se trabajó en 23 observaciones de lotes de producción de *D. marginata* (11 de variedad verde, nueve de variedad magenta y tres de variedad bicolor). De estas 23 observaciones se obtuvieron 21 observaciones independientes.

5.2.3 Trabajo en campo

Para el trabajo de campo se utilizó un MS con una cuadrícula de 10 x 10 m. El muestreo se llevó a cabo en varios lotes de cada variedad de estudio (verde, magenta y bicolor). Estos lotes tienen un promedio de área de 2.500 m², donde se realizó un muestreo en los puntos de intersección de una cuadrícula, iniciando en el punto ($x = y = 0$).

En cada uno de los puntos de muestreo se seleccionaron 9 *tips* de manera aleatoria en una circunferencia de un metro de diámetro del punto de muestreo dado por la grilla. Se observó la presencia de plagas en los *tips* seleccionados, y se registró presencia de ninfas y masas de huevos de cicadélidos, masas de huevos de tetigónidos y adultos de escamas y moluscos utilizando un formato para la toma de datos (Anexo 2). Con los datos de los muestreos de plagas en el campo, se obtuvieron valores promedio para cada uno de los conteos de número de masas de huevos de cicadélidos y tetigónidos, número de ninfas de cicadélidos, número de adultos de escamas y número de moluscos para observación (una observación puede contener más de un lote).

⁷ Base de datos de intercepciones de CSP. 14, oct. 2005 – 15, ago. 2006.

Terminado el muestreo con la grilla de 10 x 10 m, se procedió a colocar las trampas pegajosas (acetatos de color amarillo intenso en esmalte), para la captura de cicadélidos adultos. Se colocaron ocho trampas pegajosas, cuatro a una altura de 50 cm y cuatro a una altura de 120 cm, por un tiempo de 24 horas en cada lote. Con las grilla de 10 x 10 m se determinó el número de puntos a muestrear en cada lote. Estos puntos de muestreo se utilizaron para seleccionar la colocación de las trampas pegajosas en el campo con un salto sistemático (k). Este cálculo sistemático consistió en:

$$k = \frac{p}{t}$$

donde:

p es el número de puntos de muestreo en los lotes de producción.

t es el número de trampas a colocar en los lotes.

La selección de la altura en cada punto de muestreo se realizó de modo aleatorio. Seguidamente, se realizó el conteo del total de insectos capturados, total de cicadélidos capturados y total de cicadélidos cuarentenarios o críticos capturados. Estos conteos fueron promediados para obtener un resultado general para cada lote muestreado.

Estas evaluaciones en campo para los conteos de poblaciones plaga de escamas, moluscos, masas de huevos de tetigónidos y cicadélidos (masas de huevos y captura con trampas pegajosas) fueron realizadas en un trimestre que corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre del año 2006.

5.2.4 Trabajo en empacadora

La cosecha de los lotes de producción, evaluados con la grilla de 10 x 10 m y con las trampas pegajosas de color amarillo, fue inspeccionada en la empacadora. Esto se realizó con la selección de una muestra de por lo menos un 10% de las unidades a exportar (*tips*). Con un plan de trazabilidad del productor y del (los) lote (s) cosechados para la exportación de *D. marginata* se dio seguimiento a la producción de *tips* en el campo y su poscosecha en la empacadora. Esta inspección se realizó para cada productor y para cada presentación del material de exportación.

La variable registrada en la empacadora fue el número de *tips* con masas de huevos de cicadélidos y/o tetigónidos, escamas y moluscos. Estos *tips* fueron registrados con una boleta de inspección del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (Anexo 3). Al igual que los datos de las anteriores evaluaciones, estas inspecciones de empacadora fueron promediadas obteniendo una observación para cada lote.

Estas inspecciones en empacadora para los conteos de poblaciones plaga de escamas, moluscos, masas de huevos de tetigónidos y masas de huevos de cicadélidos fueron realizadas en envíos que corresponden a un trimestre que corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre del año 2006.

5.2.5 Asociación de las evaluaciones en campo e inspecciones en empacadora

Los valores medios de las evaluaciones con la grilla de 10 x 10 m, de las trampas pegajosas amarillas y de las inspecciones en empacadora, de cada lote, fueron analizados con el coeficiente de correlación de Pearson (r), tablas de contingencia y con análisis de correspondencia.

5.2.5.1 Correlación de Pearson

De acuerdo al coeficiente de correlación se logró obtener el grado de asociación entre lo observado en los puntos de muestreo, obtenidos por la cuadrícula 10 x 10 m, y lo observado en la empacadora. Esta metodología se empleó para las plagas cuarentenarias escamas, moluscos, masas de huevos de tetigónidos, y ninfas y masas de huevos de cicadélidos. En el caso de cicadélidos adultos se agregó a la asociación la captura de insectos por medio de las trampas pegajosas. Las correlaciones encontradas se analizaron con un nivel de significancia (α) del 10%.

5.2.5.2 Tablas de contingencia

Las variables de análisis para la asociación de plagas cuarentenarias en lotes y empacadora fueron categorizadas para la realización de las tablas de contingencia. Las tablas de contingencia se utilizan para el análisis simultáneo de dos o más variables categorizadas. Este análisis se empleó bajo una prueba de hipótesis referida a la asociación entre las variables

respuesta entre los dos escenarios de la cadena de exportación. El estadístico de prueba utilizado en las tablas de contingencia fue el Chi-cuadrado:

$$\sum_{i=1}^k \frac{[o_i - E(o_i)]^2}{E(o_i)} \quad \text{con } (f-1)(c-1) \text{ gl}$$

donde:

O_i es la i -ésima observación

$E(O_i)$ es el valor esperado de la i -ésima observación

f es el número de filas

c es el número de columnas

gl son los grados de libertad

5.2.6 *Análisis de correspondencia*

El análisis de correspondencias (AC) es una técnica exploratoria que permite representar gráficamente filas y columnas de una tabla de contingencia (InfoStat 2004). El AC permite explorar gráficamente las relaciones entre las categorías o clases de dos o más variables cualitativas (Balzarini et ál. 2006).

Para el estudio de relación de las poblaciones plaga en las distintas etapas de la cadena de producción de *D. marginata* se desarrolló AC simples y múltiples. Estos análisis arrojaron un *biplot* correspondientes a los agrupamientos de las categorías de las variables respuesta de las evaluaciones de la grilla de 10 x 10, trampas pegajosas e inspecciones de la empacadora. Este análisis se elaboró con el programa estadístico InfoStat (Versión 2007p).

5.3 Resultados

Se contó con 21 observaciones independientes (dos observaciones fueron constituidas de dos lotes), con un promedio 17 de puntos de muestreo por lote para una inspección de un promedio de 147 *tips* de *D. marginata* preparados para exportación por lote.

5.3.1 Trampas pegajosas en lotes de producción

La utilización de trampas pegajosas permitió observar tendencias de los insectos en los lotes de producción de *D. marginata*. Capturando mayor número de estos insectos en trampas colocadas a 50 cm. Esto se debe a que en los lotes de producción de la variedad bicolor se capturó menos insectos con trampas pegajosas a una altura de 120 cm, con respecto a las trampas colocadas a menor altura (Figura 14).

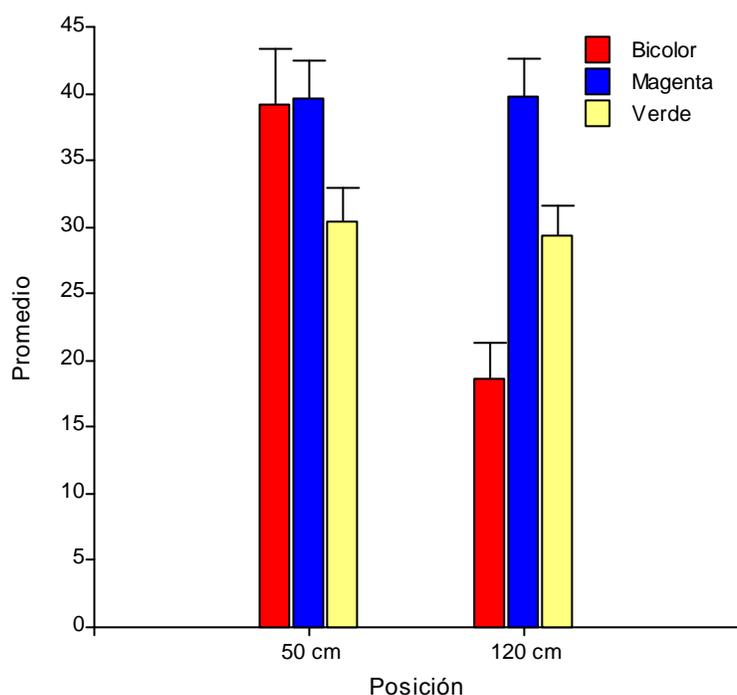


Figura 14. Promedio de insectos capturados por alturas de trampas pegajosas en variedades de *Dracaena marginata*.

Sin embargo, la captura total de insectos clave (cicadélidos) se presentó equitativa en las dos elevaciones de las trampas pegajosas, presentando un comportamiento similar en las tres variedades de estudio (Figura 15).

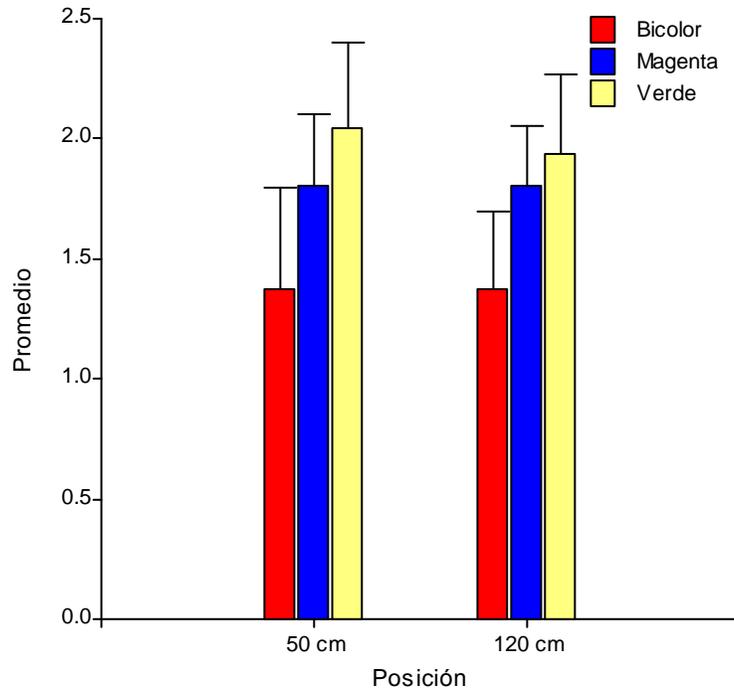


Figura 15. Promedio de cicadélidos capturados por alturas de trampas pegajosas en variedades de *Dracaena marginata*.

Lo anterior mostró que no existieron diferencias entre la captura del total de cicadélidos en las dos alturas de las trampas pegajosas por variedad de estudio. Sin embargo en el caso del total cicadélidos claves (*Oncometopia* sp., *Empoasca* sp. y *Caldwelliola* sp.), se encontró la tendencia de mayores números de cicadélidos claves capturados en trampas pegajosas con altura de 120 cm, principalmente en las variedades verde y magenta (Figura 16).

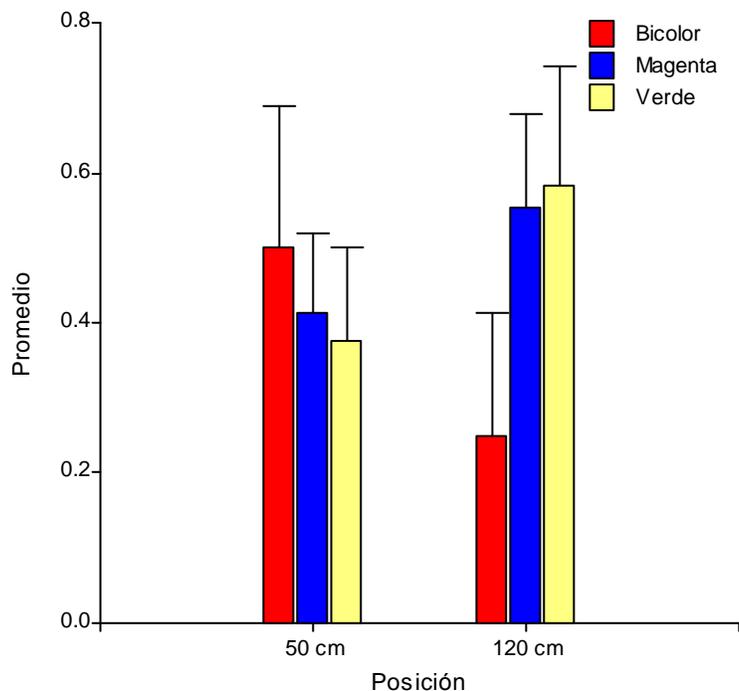


Figura 16. Promedio del total de cicadélidos claves capturados por alturas de trampas pegajosas en variedades de *Dracaena marginata*.

En el caso de los cicadélidos claves (*Oncometopia* sp., *Empoasca* sp. y *Caldwelliola* sp.) por separado, se observó varias tendencias. Primero, que la mayor captura de cicadélidos del género *Oncometopia* sp. se dio en las trampas pegajosas con alturas de 120 cm. En el caso del género *Caldwelliola* sp. la mayor captura se presentó en las trampas con alturas de 50 cm; sin embargo esta tendencia no es muy diferente a la observada en las trampas con alturas de 120 cm. Por último el género *Empoasca* sp. presentó similitud de captura en las dos alturas de las trampas pegajosas (Figura 17).

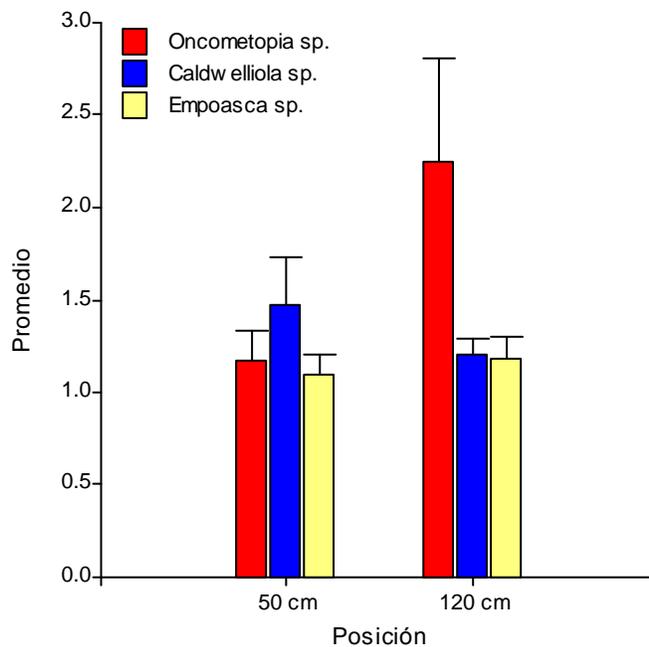


Figura 17. Promedio de cicadélidos claves capturados por alturas de trampas pegajosas en producciones de *Dracaena marginata*.

También se encontró la tendencia de que la mayor captura de estos géneros de cicadélidos claves se presentó con mayor frecuencia en los lotes de *D. marginata* variedades verde y magenta. En el caso del género *Caldwelliella* sp. la mayor captura se presentó en los lotes de variedad magenta y verde; en el género *Oncometopia* sp. la mayor captura se presentó en lotes de variedad verde, y finalmente, la captura del género *Empoasca* sp. Fue similar en las variedades verde y magenta, sin encontrar captura en los lotes de variedad bicolor (Figura 18).

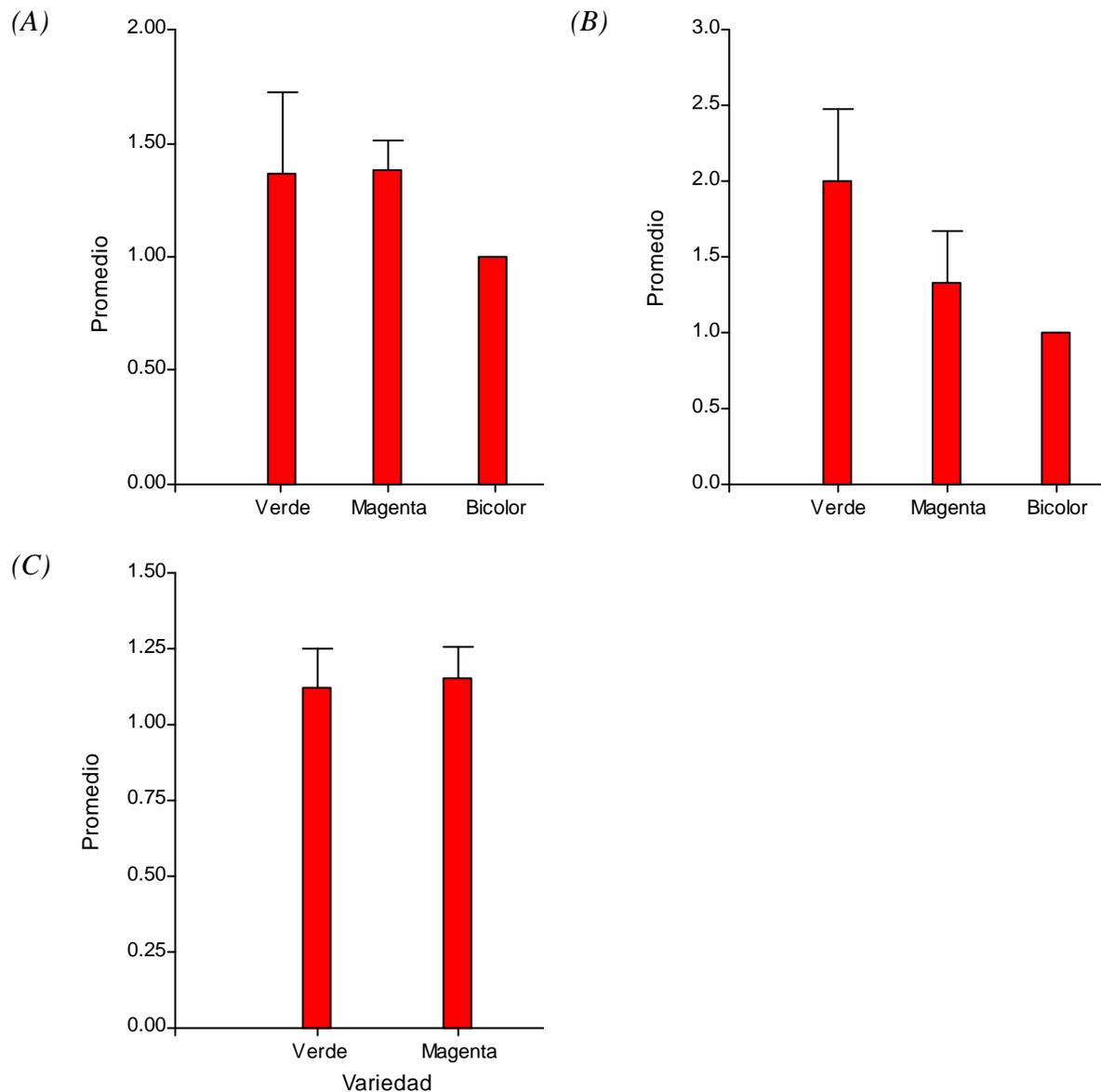


Figura 18. Promedio de cicadélidos claves capturados por variedades de *Dracaena marginata* (A) *Caldwelliola sp.*, (B) *Oncometopia sp.* y (C) *Empoasca sp.*

5.3.2 Observación visual en lotes de producción

5.3.2.1 Masas de huevos de cicadélidos

Se encontró la tendencia de que el mayor número de masas de huevos de cicadélidos cuarentenarios en los lotes de producción de *D. marginata* en la variedad magenta (Figura 19). Las variedades magenta y bicolor presentaron mayores números de masas de huevos de

cicadélidos en estado viables y parasitados eclosionados. El mayor número de masas de huevos parasitados se encontró en la variedad bicolor y la el mayor número de masas de huevos eclosionados en la variedad magenta. La variedad verde presentó los menores promedios en masas de huevos de cicadélidos en todas las categorías.

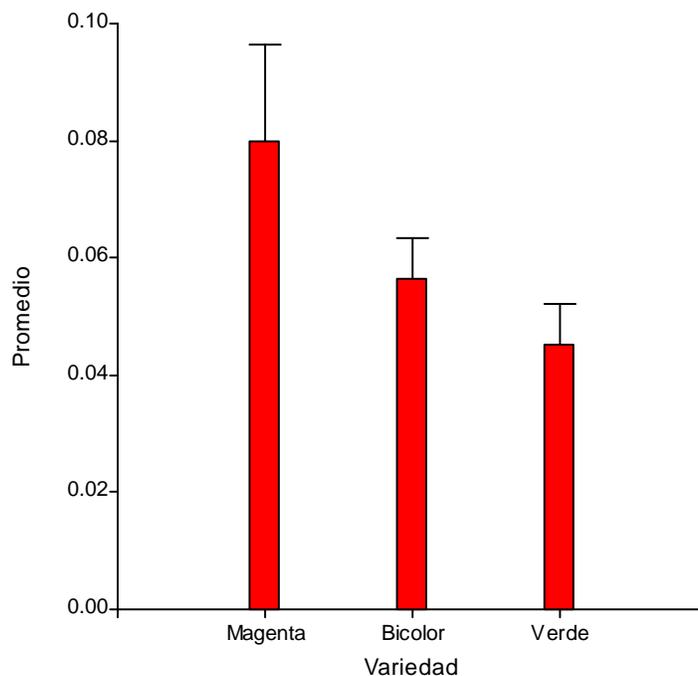


Figura 19. Promedio de masas de huevos totales de cicadélidos en variedades de *Dracaena marginata*.

5.3.2.2 Ninfas de cicadélidos

Los mayores conteos de ninfas totales se observaron en los lotes de producción de *D. marginata* variedad magenta, seguido por las variedades verde y bicolor (Figura 20). Esta tendencia se observó en las ninfas de color verde hospedadas en los *tips* de dracaenas. Los mayores promedios de ninfas de color morado se encontraron en las variedades magenta y bicolor y la categoría de otras ninfas presentó mayor frecuencia en los *tips* de *D. marginata* verde.

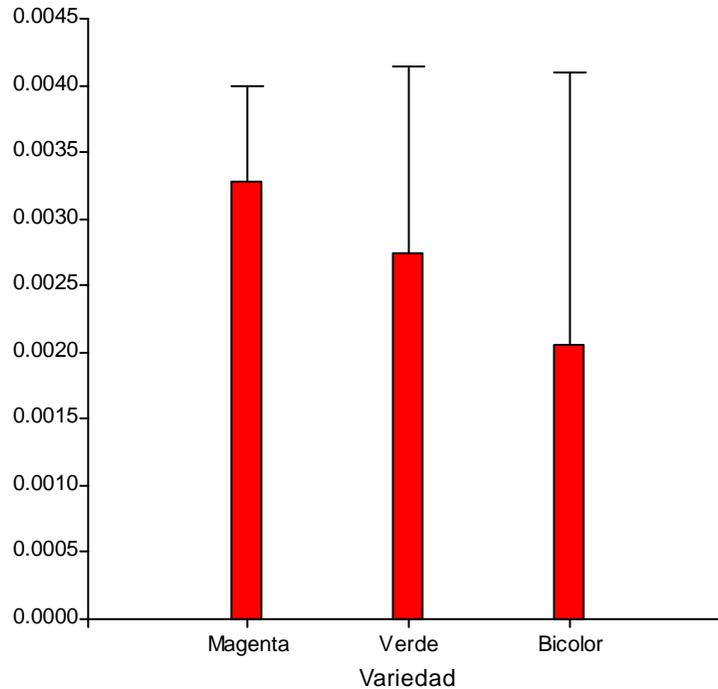


Figura 20. Promedio de ninfas totales de cicadélidos en variedades de *Dracaena marginata*.

5.3.2.3 Escamas, moluscos y masas de huevos de tetigónidos

Otra tendencia fue que los mayores promedios de las poblaciones plaga escamas, moluscos y tetigónidos (masas se huevos) fueron encontrados en los *tips* de *D. marginata* provenientes de las variedades magenta y verde; contrario a esto no se hallaron *tips* infestados con estas plagas en la variedad bicolor.

5.3.3 Asociación entre poblaciones plaga en campo

Se encontró correlación lineal entre el promedio de escamas encontradas en los *tips* de *D. marginata* con la grilla de 10 x 10 m y el número promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas ($p = 0,0700$; $r = -0,40$). Esta relación es inversa, lo que indica que a medida que aumente el número promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas, disminuirá el número promedio de escamas en los *tips* de *D. marginata*.

El promedio de escamas encontradas en los *tips* de *D. marginata* previo a la cosecha esta correlacionado con el promedio de masas de huevos de tetigónidos colocados en los *tips* ($p = 0,0300$). De este modo a mayor número del promedio de escamas observadas en las

dracaenas, mayor número promedio de masas de huevos de tetigónidos. Este promedio de masas de huevos de tetigónidos presentó, al igual que el promedio de escamas, una relación inversa con el número promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas ($p = 0,0800$).

Se encontró que el número promedio de moluscos encontrados en *tips* de los lotes de producción esta correlacionado con el número promedio de masas de huevos de tetigónidos colocadas en *tips* de dracaenas ($p = 0,0300$). A medida que aumente los promedios de moluscos en los *tips* de *D. marginata* aumentará el número promedio de masas de huevos en los *tips*.

Además, el número promedio de ninfas verdes observadas en los *tips* de producción de *D. marginata* esta correlacionado con el número promedio de escamas ($p = 0,0900$). Así con forme aumente la población media de escamas aumentará la población media de ninfas verdes de cicadélidos.

Por otro lado, no se encontró relación lineal entre la cantidad de masas de huevos encontrados en campo y la cantidad de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas ($p = 0,3600$). A su vez, no se encontró relación entre lineal entra la cantidad de masas de huevos en los lotes evaluados y la cantidad de cicadélidos importantes (*Oncometopia clarior*, *Caldwelliola reservata* y *Empoasca* sp.) ($p = 0,2000$).

Finalmente se encontró relación lineal positiva entre el promedio de masas de huevos del cicadélido *Oncometopia clarior* encontradas en los lotes de producción con el promedio de cicadélidos de la misma especie capturados en las trampas pegajosas elaboradas en láminas de acetatos con pintura amarillo intenso en esmalte ($r = 0,42$; $p = 0,0100$). Por otro lado no se encontró relación lineal entre las masas de huevos del cicadélido *Caldwelliola reservata* encontradas en los lotes de producción y el promedio de cicadélidos capturados de esta especie en las trampas pegajosas ($p = 0,6200$).

5.3.4 Relación campo con empacadora

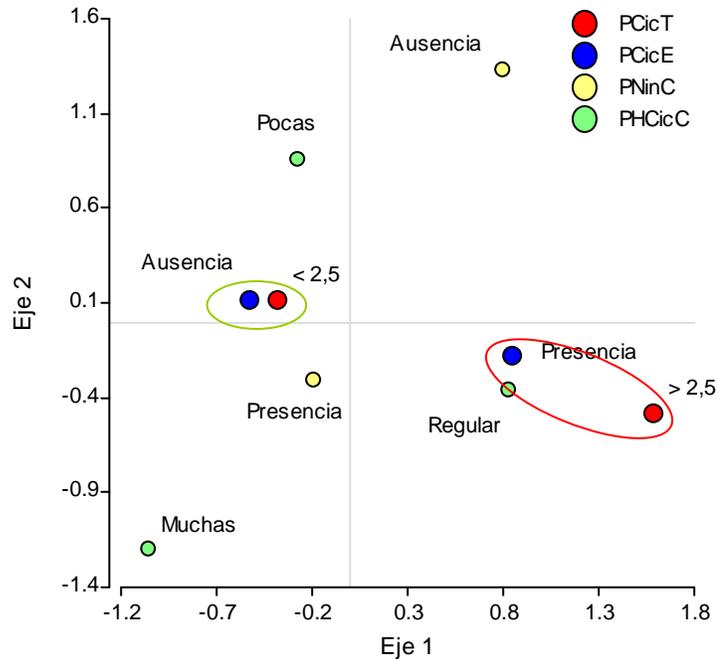
5.3.4.1 Cicadélidos

Se encontró correlación positiva entre el número promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas en campo, y el porcentaje de *tips* con masas de huevos de estos mismos insectos en empacadora ($p = 0,0700$). Sin embargo, esta relación no resultó ser muy fuerte ($r = 0,4000$).

Por lo anterior, estas anteriores variables fueron transformadas en categorías. Las clases de la variable promedio de cicadélidos capturados fueron: baja captura de cicadélidos ($\bar{X} < 2,5^8$) y alta captura de cicadélidos ($\bar{X} \geq 2,5$). Por otra parte, el porcentaje de *tips* con masas de huevos de cicadélidos en empacadora se transformó en las clases de ausencia de masas de huevos en los *tips* ($\bar{X} = 0$) y presencia de masas de huevos en los *tips* ($\bar{X} > 0$) de *D. marginata*.

Con el estadístico Chi-cuadrado de Pearson se confirmó que hay dependencia entre las categorías de las variables promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas, y el porcentaje de *tips* con masas de huevos de cicadélidos en empacadora ($p = 0,0912$), observando asociación entre estas categorías (Figura 21).

⁸ Valor de percentil 75.



PCicT: Promedio de cicadélidos capturados en trampas pegajosas

PCicE: Porcentaje de *tips* con masas de huevos de cicadélidos en empacadora

PNinC: Promedio de ninfas de cicadélidos observadas en campo

PHCicC: Promedio de masas de huevos de cicadélidos observados en campo

Figura 21. Biplot obtenido mediante análisis de correspondencias múltiples para asociación entre categorías de cicadélidos en campo y empacadora

5.3.4.2 Escamas

No se encontró relación lineal entre las variables promedio de escamas en *tips* de *D. marginata*, observados en campo, y el porcentaje de *tips* con escamas en empacadora ($p = 0,9400$). A su vez, no se observó relación entre las categorías de estas variables transformadas ($p > 0,5489$).

5.3.4.3 Tetigónidos

No se encontró relación lineal entre las variables promedio de masas de huevo de Tetigónidos en *tips* de *D. marginata*, observados en campo, y el porcentaje de *tips* con masas de Tetigónidos en empacadora ($p = 0,5900$). No se encontró relación entre las categorías de estas variables transformadas ($p = 0,7507$).

5.3.4.4 Moluscos

Se logró observar que la población plaga Moluscos en los *tips* de *D. marginata*, disminuye conforme el producto atraviesa la cadena de producción. Esta población se logra vigilar con un control cultural que va desde la cosecha hasta el limpiado del follaje de los *tips* en empacadora debido a que por su tamaño son de fácil visualización (observación personal).

5.4 Discusión

El estudio del comportamiento de las poblaciones de insectos en los lotes de producción de *D. marginata* mediante observaciones es muy complejo. Este depende de las variedades de estudio y de los diferentes manejos de los productores a sus cultivos; sin embargo, en muchos casos estas tendencias no presentaron diferencias significativas para su generalización.

A su vez, con las trampas pegajosas se encontró un patrón de dispersión espacial en sentido vertical en algunos géneros de cicadélidos tales como *Oncometopia* sp., *Empoasca* sp. y *Caldwellioliola* sp. El primer género se capturó con mayor frecuencia a una altura de 120 cm de la tierra; mientras que en el caso del género *Caldwellioliola* sp. la mayor captura fue a alturas de 50 cm. Los cicadélidos de género *Oncometopia* sp. están descritos como uno de los géneros de la familia Cicadellidae de mayor tamaño (Tipping y Mizell III 2004) por lo que poseen mayor dispersión vertical con respecto a otros géneros de la familia de estudio.

Sin embargo los patrones de estos géneros no concuerdan con lo observado en campo, con respecto a la oviposición de las masas de huevos. Esto debido a que en los campos de producción de *D. marginata* las masas de huevos de *Oncometopia clarior* y *Caldwellioliola reservata* son observadas con igual frecuencia en los tres estratos (observación personal).

5.4.1 Poblaciones plaga en campo

La abundancia de las poblaciones plaga en los lotes de producción de *D. marginata* es muy variada, algunas poblaciones tienen relaciones directas entre si; pero también existen relaciones de modo inverso entre las abundancias de poblaciones de estudio.

Una población plaga que tiene relación con otras plagas es la de los cicadélidos adultos capturado con las trampas pegajosas. La abundancia de esta población es de modo inverso a las obtenidas por las escamas y tetigónidos. Según Prado (2006) este comportamiento en las abundancias de cicadélidos con escamas y tetigónidos puede deberse a factores como la fertilización y la aplicación de insecticidas.

Al aumentar las aplicaciones de fertilización aumenta las masas de huevos de cicadélidos y disminuyen el número de escamas, número de hojas con escamas y los números de masas de huevos de tetigónidos (Prado 2006). Con respecto, al factor aplicación de insecticidas, al aumentar las aplicaciones de algún producto sistémico se reducen el número de masas de huevos de cicadélidos; pero aumentan los conteos de escamas, hojas con escamas y las masas de huevos de tetigónidos (Prado 2006). Tal vez estos u otros factores son los responsables de que la abundancia de cicadélidos adultos tenga un comportamiento inverso con la abundancia de escamas y masas de huevos de tetigónidos, en los lotes de producción de *D. marginata*.

Sin embargo, este tipo de relación entre los adultos y masas de huevos de cicadélidos con el número de escamas no se presentó para el caso de las ninfas verdes. Esta relación es directa porque al igual que las escamas y los moluscos los primeros estadios (ninfas) de cicadélidos dependen del follaje de la planta más que las masas de huevos y los adultos por la poca dispersión producto de no poseer sus alas bien desarrolladas por lo que poseen poca locomoción y poca dispersión espacial (Hidalgo et ál. 1999, Blua y Morgan 2003, Tipping y Mixell III 2004, Ramos 2007). Los cicadélidos adultos poseen alas bien definidas que les permite tener una mayor distribución espacial lo que les permite tener más de un hospedante (Davies 1991, Hidalgo et ál. 1999) y la oviposición de las masas de huevos depende de la dispersión espacial del cicadélido hembra (Ramos 2007).

Contrario a los primeros resultados, se encontró que la abundancia de ciertas poblaciones plaga se comportan de modo directo. La abundancia de escamas, masas de huevos de tetigónidos y moluscos aumentan o disminuyen de igual modo por sus coeficientes de correlación positivos y significativos. La fertilización y la aplicación de insecticidas producen que las poblaciones de escamas y masas de huevos de tetigónidos tengan una relación directa. A su vez, el factor densidad de plantación en lotes de producción de *D. marginata* afecta a las

poblaciones de moluscos y a la cantidad de masas de huevos de tetigónidos. Ambas poblaciones son afectadas de igual modo. Al aumentar la densidad de plantación aumenta la cantidad de masas de huevos de tetigónidos y aumenta la presencia de moluscos los *tips* de *D. marginata* (Prado 2006).

5.4.2 Asociación campo y empacadora

Se encontró relación entre las poblaciones plaga de cicadélidos (masas de huevos, ninfas y adultos), en el campo y empacadora. El encontrar presencia o ausencia de *tips* contaminados, con masas de huevos de cicadélidos, en la empacadora depende del valor promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas; pero no se encontró relación de algunas poblaciones plaga en los campos de producción y las zonas de embalaje (empacadora). Caso específico de tetigónidos (masas de huevos), moluscos y escamas; sin embargo, hay ciertas tendencias que permiten evidenciar la disminución del número de *tips* contaminados por estas plagas en campo con respecto al número de *tips* contaminados que llegan a la empacadora. El no encontrar un resultado significativo pudo estar afectado por el proceso de preparación y limpieza previo al embalaje que aplican a esta planta ornamental.

El no encontrar relación significativa de estas poblaciones plaga en la zona de empaque con respecto a la zona de producción se dio porque como es conocido los *tips* de *D. marginata* se comercializan bajo el concepto de planta ornamental y su venta depende de la presentación de los *tips*. El control de la presentación se obtiene al trabajar de modo exhaustivo en el proceso de empacadora. Este proceso comienza con un control cultural, empírico, que consiste en la eliminación del follaje de los *tips* de *D. marginata* con masas de huevos de cicadélidos y/o tetigónidos (viables, parasitados, eclosionados y/o parasitados eclosionados), escamas y/o moluscos.

Después del control cultural, el personal continúa con el desarrollo de una limpieza a base de una inmersión de los *tips* sobre una mezcla de productos sistémicos (*dipping* en inglés). Este *dipping* va orientado a la eliminación de insectos inmaduros (ninfas) y/o adultos (escamas y moluscos).

Con lo anterior se logra una disminución del número de *tips* que puedan salir con éxito (contaminados) en la inspección de empacadora. Esto reduce la probabilidad de encontrar en el follaje de los cortes a exportar, alguna de las plagas ya descritas. Esta probabilidad no se reduce por completo, ya que existen masas de huevos de algunos cicadélidos y tetigónidos que son muy difíciles de observar por tamaño y/o color, en los follajes de algunas variedades de *D. marginata* (Ej. verde). Además de las masas de huevos de cicadélidos y/o tetigónidos también son difíciles de observar las escamas y moluscos con tamaños pequeños.

5.4.3 Instrumentos de evaluación

La eficiencia de la evaluación de plagas cuarentenarias asociadas a *D. marginata* en campo con el muestreo sistemático, se examinó con el uso de trampas pegajosas para la captura de insectos plaga (cicadélidos y tetigónidos). Encontrando asociación entre las observaciones de ambos instrumentos.

Lo anterior permite realizar un estudio de plagas cuarentenarias de modo más exhaustivo con estas dos herramientas. Más aún, cuando ciertas variables de cada instrumento presentaron estar correlacionadas con los números de éxitos (*tips* con presencia de masas de huevos, escamas y moluscos) en campo y en empacadora. Estas relaciones permitirán establecer criterios de decisión para el control de plagas en las producciones de *D. marginata*.

Los dos instrumentos se pueden emplear conjuntamente. Con el resultado de número promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas, se estimará la ausencia o presencia de *tips* con masas de huevos de cicadélidos en empacadora. Por otro lado, con el formato del muestreo sistemático de la grilla de 10 x 10 m se podrá realizar estimaciones del comportamiento de las otras plagas en los *tips* de *D. marginata*.

El tener control sobre los números promedios de éxitos en campo y en empacadora permitirá establecer métodos de control de plagas (sintéticos o culturales) más estrictos. Con esto se logrará vigilar que el material de exportación este libre de una futura interceptación en los puertos de los Estados Unidos.

5.5 Conclusiones

Las poblaciones plaga de escamas, moluscos y tetigónidos (masas de huevos) no presentaron estar correlacionadas entre si en las etapas de la cadena de exportación de *D. marginata* en el trimestre de evaluación.

Se encontró que en este periodo de estudio la población de cicadélidos esta correlacionada en las dos etapas de la cadena de exportación de estudio. A mayor cantidad de cicadélidos adultos capturados en las trampas pegajosas habrá presencia de *tips* infestados con masas de huevos que pertenecen a algunos géneros y especies de esta familia (Ej. *Oncometopia clarior*, *Caldwelliola reservata*, *Empoasca* sp. y *DioSTEMMA* sp.)

Los instrumentos de densidad relativa (trampas y grilla) presentaron estar asociados en la captura y observación de poblaciones de cicadélidos para las producciones de *D. marginata*. Así, el emplear estos instrumentos conjuntamente permitirá obtener medidas confiables en el estudio de las poblaciones plaga y medidas de control a utilizar por los productores y/o exportadores.

Se encontró tendencias que permiten evidenciar la disminución del número de *tips* contaminados por estas plagas en campo con respecto al número de *tips* contaminados que llegan a la empacadora. El no encontrar un resultado significativo pudo estar afectado por el proceso de preparación previo al embalaje que aplican a esta planta ornamental.

5.6 Recomendaciones

La comercialización de los *tips* de *D. marginata* es bajo el concepto de planta ornamental y su venta depende de la buena presentación y cero infección por parte de plagas cuarentenarias. El uso de los dos instrumentos para el monitoreo de plagas (grilla de muestreo y trampas pegajosas) permitirá a los productores y exportadores vigilar los números de unidades (*tips*) con plaga en los lotes de producción previo a su poscosecha y establecer medidas de control de las poblaciones plaga en estas producciones.

Una medida de control que emplean los productos de *D. marginata* es el uso de insecticidas; pero estas aplicaciones las realizan sin haber establecido un umbral económico

(punto en que las pérdidas y ganancias de una medida control son iguales). Lo que puede generar un gasto innecesario cuando las poblaciones de la plaga son muy bajas presentando poca sostenibilidad económica para muchos productores pequeños. Con el uso de estos instrumentos para el monitoreo de plagas los productores podrán realizar estas aplicaciones de modo correcto y de forma sostenible estableciendo umbrales. Un umbral que se puede establecer es el valor del promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas ya que este valor está asociado con la ausencia y presencia de *tips* infestados con masas de huevos de estos insectos en la zona de embalaje.

Aumentar el periodo de evaluación de las cosechas en campo y el periodo de inspección de la poscosecha de estos mismos lotes en empacadora. Esto para confirmar si realmente hay poblaciones plaga que no tienen relación en las dos etapas de la cadena de exportación; o si por el contrario se encuentran relaciones de estas plagas en campo y empacadora a través del tiempo.

5.7 Bibliografía

- Balzarini, M; Macchiavelli, R; Casanoves, F. 2006. Datos multivariados: análisis clásicos y nuevas tecnologías. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 74 p.
- Blua, MJ; Morgan, DJ. 2003. Dispersion of *Homalodisca coagulata* (Hemiptera: Cicadellidae) a vector of *Xylella fastidiosa* in Southern California. *Journal of Economic Entomology*. 96 (5): 1369-1373.
- Colpetzer, K. 2005. Importation of oversized *Dracaena* for ornamental purposes from Costa Rica into the United States: a qualitative Pathway- Initiated Risk Assessment. United States. 96 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2005. Innovación tecnológica para la generación de material propagativo sano de *Dracaena marginata* Para el mercado de exportación estadounidense. San José. Costa Rica. 83 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2006. Insectos asociados al cultivo de *Dracaena marginata*. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 4 p.

- Davies, RG. 1991. Introducción a la entomología. Trad. Varela, MA; Sandoval, EV. Ediciones Mundi-Prensa. 449 p.
- Hidalgo, MM; Rodríguez, R; Ricardo, NE; Ferras, H. 1999. Dinámica poblacional de cicadélidos (Homoptera: Cicadellidae) en un agroecosistema cañero de Cuba. *Revista de Biología Tropical*. 47 (3): 10-18.
- InfoStat 2004. *InfoStat Versión 2004*. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA. Editorial Brujas. Córdoba. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. 318 p.
- InfoStat 2007. *InfoStat Versión 2007*p. Manual del Usuario. Grupo InfoStat, FCA. Córdoba. Argentina. Universidad Nacional de Córdoba.
- Instituto Meteorológico Nacional. 2007. Clima de Costa Rica. (En línea). Consultado 1 de may. 2007. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr>
- Prado, J. 2006. Desarrollo de protocolos de muestreo y evaluación de la relación de prácticas agrícolas con la población de plagas cuarentenarias en *Dracaena marginata* en costa rica. Tesis de grados de maestría. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 144 p.
- PROCOMER. 2005. Medidas sanitarias y fitosanitarias del CAFTA. (En línea). Consultado 17 jun. 2006. Disponible en: <http://www.procomer.com>
- Ramos, M. 2007. The effect of local landscape context on leafhopper communities (Hemiptera: Cicadellinae) in coffee farms. Doctoral thesis (unpublished). Costa Rica – United States. CATIE – University Idaho.
- Tipping, C; Mizell III, RF; Andersen, PC. 2004. Dispersal adaptations of immature stages of three species of leafhopper (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). *Florida Entomologist*. 87 (3): 372-379.
- Tipping, C; Mizell, R.F. 2004. Sharpshooters, Leafhoppers, Cicadellidae (Insecta: Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). ENY-334. 8 p.

Anexo 2. Planilla utilizada para la evaluación de poblaciones plaga en lotes de *D. marginata*

Muestreo de poblaciones, Zona _____

Fecha:

de Muestreo:

Lote	Variedad	Posición	# de tip	Estrat	% Maleza	Huevosde cicadelido						Ninfas					Otras plagas					
						#	Tipo	Posición		Viab	P	E	PE	#	Cog	Caña	M	V	OTRAS	E	T	M
								Cog	Caña													
		0.0	1																			
		0.0	2																			
		0.0	3																			
		0.0	4																			
		0.0	5																			
		0.0	6																			
		0.0	7																			
		0.0	8																			
		0.0	9																			
		0.10	1																			
		0.10	2																			
		0.10	3																			
		0.10	4																			
		0.10	5																			
		0.10	6																			
		0.10	7																			
		0.10	8																			
		0.10	9																			
		0.20	1																			
		0.20	2																			
		0.20	3																			
		0.20	4																			
		0.20	5																			
		0.20	6																			
		0.20	7																			
		0.20	8																			
		0.20	9																			
		0.30	1																			
		0.30	2																			
		0.30	3																			
		0.30	4																			
		0.30	5																			
		0.30	6																			
		0.30	7																			
		0.30	8																			
		0.30	9																			
		10.0	1																			
		10.0	2																			
		10.0	3																			
		10.0	4																			
		10.0	5																			
		10.0	6																			
		10.0	7																			
		10.0	8																			
		10.0	9																			
		10.10	1																			
		10.10	2																			
		10.10	3																			
		10.10	4																			
		10.10	5																			
		10.10	6																			
		10.10	7																			
		10.10	8																			
		10.10	9																			

Anexo 3. Planilla utilizada por el MAG para la evaluación de poblaciones plaga en emparadoras de *D. marginata*

Clean Stock Program

COMITÉ DE INSPECCIÓN Y TRAZABILIDAD

Registro de Plagas

--

Fecha de Intercepción						# Reporte APHIS					# Reporte SFE				
Inspector :						Código									
Exportador:						Importador						Destino:			
Cultivo (género)						Cultivo (especie)						Cultivo (variedad)			
Tipo de Corte						Tamaño						Tipo de Producto			
Plaga						Estado						Ubicación			
# de plagas interceptadas						<input type="checkbox"/> Huevos <input type="checkbox"/> Negros <input type="checkbox"/> Blanquecino <input type="checkbox"/> Inmaduros <input type="checkbox"/> Adultos <input type="checkbox"/> Pupa <input type="checkbox"/> Larva <input type="checkbox"/> Concha						<input type="checkbox"/> Hoja <input type="checkbox"/> Haz <input type="checkbox"/> Envés <input type="checkbox"/> Tallo <input type="checkbox"/> Raíz <input type="checkbox"/> Embalaje <input type="checkbox"/> Contenedor			
						Finca						Código			
Dirección:															
# Plantas a exportar						Acción tomada						Acción tomada post reacondicionamiento			
# Plantas inspeccionadas						<input type="checkbox"/> Reacondicionamiento <input type="checkbox"/> Certificación						<input type="checkbox"/> Certificación <input type="checkbox"/> No Certificación			
# planta donde se localizó la plaga						Firma del Inspector									

6 ARTÍCULO 4: Plan de muestreo secuencial para evaluar el material de exportación de plantas ornamentales de *D. marginata* para el mercado estadounidense

6.1 Introducción

La producción y comercialización de la planta ornamental *Dracaena marginata* constituye un gran aporte a la economía costarricense y particularmente en la estabilidad económica de muchas familias (Tomeu 1990). Esta planta ornamental nativa de Madagascar posee una serie de desventajas económicas en el proceso de exportación, que junto a las fuertes medidas fitosanitarias aduaneras limitan de una u otra forma el mercado de estas plantas ornamentales principalmente en el mercado de los Estados Unidos.

En los puertos de los Estados Unidos se han reportado más de 7000 intercepciones entre el período de 1984 y 2004 (Colpetzer 2005) producto de presencia de plagas cuarentenarias en los embarques de macollas (*tips*) de dracaenas. Cada intercepción de material de exportación les implica a los productores costarricenses pérdidas aproximadas de 1.000 a 3.000 cajas de exportación por cada intercepción.

Las intercepciones de las producciones de esta planta ornamental, *D. marginata*, son producto de hospedar a varios insectos y animales invertebrados considerados como plagas cuarentenarias. Entre ellas se pueden mencionar los cicadélidos, tetigónidos, escamas y moluscos (Colpetzer 2005, CSP 2006). Con lo anterior, para el control de estas poblaciones plaga en los embarques de exportación de esta planta ornamental se requiere establecer prácticas de manejo del cultivo que ayuden a disminuir la presencia de las mismas en el material de exportación.

Una de las prácticas necesarias para el manejo de las plagas es establecer un plan de monitoreo de sus poblaciones. El muestreo secuencial de poblaciones de plagas le permitirá al productor conocer si su material de exportación es de buena calidad y no será interceptado, evitando pérdidas económicas como las descritas con anterioridad.

Así, el objetivo de esta investigación fue establecer un plan de muestreo secuencial para la evaluación del material de exportación de *D. marginata* con miras al mercado

Estadounidense. Para el desarrollo de este objetivo se determinó la distribución espacial de las plagas en los campos de producción de *D. marginata*, se establecieron valores de densidad crítica para distintos tipos de muestreo y se elaboraron las curvas de decisión de cada plan de muestreo secuencial, con la finalidad de generar una herramienta para el control de plagas cuarentenarias en los campos de producción y en las zonas de embalaje (empacadoras) para productores, exportadores e inspectores de *D. marginata*.

6.2 Materiales y métodos

6.2.1 Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en las zonas Norte y del Caribe de Costa Rica (Figura 22). En ambas se trabajó a nivel de campo en fincas de producción situadas en los distritos de La Tigra del cantón de San Carlos, de la provincia de Alajuela (zona Norte), y en fincas pertenecientes a los cantones de Siquirres y Pococí (distrito Guápiles), de la provincia de Limón (zona del Caribe).



Fuente: www.guiascostarica.com/mgeo1.gif

Figura 22. Ubicación de las zonas de estudio en el Caribe (Guápiles y Roxana) y región Huétar Norte (La Tigra de San Carlos) costarricense.

Según la descripción del Instituto Meteorológico Nacional (2007) el cantón de Siquirres tiene una altitud de 65 msnm, con una temperatura promedio de 27 °C, la radiación solar tiene un promedio de 5 horas luz y una precipitación promedio anual de 3600 mm. El distrito de Guápiles del cantón de Pococí posee una altitud de 262 msnm, una temperatura promedio de 25 °C, la radiación solar tiene un promedio de 6 horas luz y una precipitación promedio anual de 4500 mm. En San Carlos, zona norte de Costa Rica, la altitud es de 170 msnm, la temperatura promedio es de 25 °C, la radiación solar tiene un promedio de 5 horas luz y una precipitación promedio anual de 3500 mm.

6.2.2 Variedades de estudio de *Dracaena marginata*

El estudio se basará en la obtención del muestreo secuencial en las variedades de *D. marginata* verde, magenta y bicolor. Estas variedades son las que poseen mayor porcentaje de intercepciones (54, 21,6, y 19,6% respectivamente⁹) realizadas en los Estados Unidos en el período de octubre del 2005 a agosto del 2006.

Se trabajó en 18 lotes de producción de *D. marginata*, nueve lotes en la zona del Caribe y nueve lotes en la zona Huétar Norte de Costa Rica. En cada zona se tuvo acceso a los lotes de producción de distintas variedades de *D. marginata* (Cuadro 10) en por lo menos tres fincas de producción. No todas las variedades tiene el mismo número de lotes en las zonas de estudio.

Cuadro 10. Distribución de lotes de *Dracaena marginata* por variedad en las zonas de estudio

Variedad	Zona		Total
	Norte	Caribe	
Verde	3	3	6
Bicolor	3	2	5
Magenta	3	4	7
Total	9	9	18

Los lotes de estudio presentaron una distancia promedio de 2.500 m², con una cantidad promedio de 32 puntos muestrales. Estos puntos fueron obtenidos a partir de un muestreo

⁹ Base de datos de intercepciones CSP. 14, oct. 2005 – 15, ago. 2006.

sistemático en una grilla de 10 m × 10 m ubicada en el centro de cada lote. Los muestreos de poblaciones plaga en los lotes de producción se realizaron durante nueve meses en cada zona de investigación. Esto por el programa de monitoreo mensual de plagas del proyecto *Clean Stock Program*. En la zona Norte las evaluaciones comprendieron los meses de noviembre y diciembre del año 2006, además de los meses de enero a julio del 2007. Por otra parte, las evaluaciones en la zona del Caribe comprendieron los meses de octubre a diciembre del 2006, y los meses de enero a junio del 2007.

6.2.3 Distribución espacial y tamaño de muestra

En los lotes seleccionados para el estudio de plagas asociadas a *D. marginata* en las dos zonas de estudio se desarrolló un muestreo sistemático (MS), siguiendo un formato de cuadrícula de 10 x 10 m (Anexo 2). Este muestreo se llevó a cabo en cada uno de los lotes por un periodo de nueve meses; contabilizando mes a mes la presencia de escamas, moluscos, ninfas y masas de huevos de cicadélidos, y masas de huevos de tetigónidos. Los datos obtenidos por los conteos de plagas fueron utilizados para la determinación del patrón de distribución espacial de cada una de las plagas cuarentenarias en los lotes de producción de esta planta ornamental.

6.2.3.1 Patrón espacial y variabilidad

Para el diseño de un plan de muestreo confiable se caracterizó cuantitativamente el patrón espacial de las plagas cuarentenarias en el campo de producción de las variedades de *D. marginata*. Se tomaron muestras con cuadrícula de 10 x 10 m en los lotes de producción y a partir de la densidad de cada plaga se realizaron pruebas de bondad de ajuste a las distribuciones de conteos (Binomial, Beta Binomial, Poisson y Binomial Negativa) usando el estadístico Chi-cuadrado máximo verosímil.

Alternativamente se determinó la distribución espacial de las plagas basándose en la ley de potencia de Taylor (Taylor 1984). Esta ley consiste en una comparación empírica entre la varianza y la media de estimaciones de abundancia, descrita mediante la ecuación potencial $S^2 = a*m^b$, donde S^2 y m representan la varianza y la media respectivamente, mientras que a y b son parámetros a estimar estadísticamente (Trumper 2004). Para la estimación de los

parámetros se utilizó una transformación aritmética con logaritmos en ambos lados de la ley de potencia de Taylor. Se obtuvo una ecuación lineal $\text{Log } S^2 = \text{Log } a + b \text{ Log } m$, donde $\text{Log } a$ es la ordenada al origen, y b es la pendiente de la recta que representa una medida del grado de agregación de la población en estudio (Gyenge et ál. 1999). La ley de potencia de Taylor permitió cuantificar el grado de agregación mediante el valor de la pendiente del modelo y sus respectivos intervalos de confianza: $b < 1$, $b = 1$ y $b > 1$ que indican patrones uniforme, aleatorio y agregado respectivamente.

6.2.3.2 Estimación de tamaño mínimo de muestra

La estimación de los estadísticos de la ecuación de la ley de potencia de Taylor: b y $\text{Log } a$ permitió estimar el número mínimo de unidades muestrales. Esto con la ecuación:

$$n = \frac{a * m^{(b-2)}}{C^2}$$

donde:

C es igual a la división entre el error estándar de los datos de abundancia (EE) y el promedio de abundancia (m).

6.2.4 Densidad crítica de plagas

6.2.4.1 Densidad crítica en campo

Para el cálculo de la densidad de las poblaciones plaga escamas, moluscos y masas de huevos de cicadélidos y tetigónidos en campo se tomaron los datos de los muestreos mensuales suministrados por el CSP para obtener el promedio general de los conteos observados en los 18 lotes de producción de las dos zonas de estudio (Norte y Caribe). Con el valor del promedio de escamas, moluscos y masas de huevos de cicadélidos y tetigónidos observados sobre los tipos de *D. marginata* se obtuvieron los valores de densidad crítica para estas poblaciones.

La dc para la población de escamas fue obtenida a partir de la reducción del valor de su promedio general por su valor respectivo del 30%. Para el caso de las poblaciones plaga

moluscos y masas de huevos de tetigónidos la dc se obtuvo en reducir su promedio general en su valor respectivo del 50%. Finalmente, en el caso de las masas de huevos de cicadélidos la dc se obtuvo reduciendo el promedio poblacional de las masas de huevos en los lotes de producción en un 70% de su respectivo valor.

También, para el caso de la población de cicadélidos adultos el valor de densidad crítica que se utilizó fue el promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas de 2,5 cicadélidos capturados en ocho trampas pegajosas. Este valor está relacionado con la presencia (mayor al cero por ciento) de *tips* de *D. marginata* infestados con masas de huevos de cicadélidos en la empacadora.

6.2.4.2 Densidad crítica en empacadora

En el caso de escamas, cicadélidos, tetigónidos y moluscos se determinó la densidad crítica (dc), definida como el grado de densidad de plagas cuarentenarias que se tolerará en lotes de producción y plantas empacadoras de *D. marginata*. La obtención de la dc se hizo con un 95% de probabilidad de encontrar el material de exportación libre de plagas. Esta probabilidad sumada a la distribución Binomial dio el porcentaje de unidades muestrales infestadas que se tolerarán en las etapas de la cadena de exportación del material de *D. marginata*. Según Venette et ál. (2002) la probabilidad de observar una unidad muestral infestada (*tip* de *D. marginata* con plagas) en una muestra de tamaño n con distribución Binomial está dada por:

$$p(Y = y | m, n) = C(n, y) \left(\frac{m}{n}\right)^y \left(1 - \frac{m}{n}\right)^{n-y}, \quad y = 0, 1, \dots, n.$$

La probabilidad de no observar una unidad infestada en una muestra de n unidades es $P(y = 0) = (1 - m/n)$. El despeje de esta probabilidad dio como resultado el valor de la densidad crítica ($dc = m/n$) para distintos valores de números de muestra de *tips* a inspeccionar en empacadora; Por otra parte la probabilidad de observar uno o más unidades infestadas es $P(y > 0) = 1 - (1 - m/n)$.

Sin embargo, la anterior probabilidad es para el caso de una caja con material de *D. marginata*, y la inspección en los puertos de USA la realizan para un número mayor a una caja

con material de dracaenas (B). Este número de cajas depende del tamaño del embarque. Por lo anterior la ecuación resultante para obtener probabilidades desde la distribución binomial es:

$$\prod_{i=1}^B p(Y = y | m, n) = \prod_{i=1}^b C(n, y) \left(\frac{m}{n}\right)^y \left(1 - \frac{m}{n}\right)^{n-y}, \quad y = 0, 1, \dots, n.$$

donde:

$\prod_{i=1}^B$ Es la multiplicación de las probabilidades obtenidas para las i -ésimas cajas inspeccionadas.

Con el cálculo de la dc se pudo generar un protocolo de muestreo secuencial para las etapas de embalaje en la cadena de producción. Para la obtención de algunos valores de densidad crítica se utilizó el programa Análisis Estadístico de Datos R (versión 2.3.1).

6.2.5 Curvas de decisión

En la construcción de planes de muestreo secuencial se empleó la metodología la del programa estadístico *SeqSam*. Este programa realizó las estimaciones basándose en el muestreo secuencial de Iwao, calculando las curvas de decisión y curvas de potencia para un muestreo secuencial a partir de la especificación de la dc de las poblaciones de plagas cuarentenarias en la producción de *D. marginata*.

Las curvas de decisión produjeron las tres áreas de decisión: a) debajo de la línea crítica inferior corresponde detener el muestreo y certificar el material de exportación muestreado como libre de plagas; b) entre la dos líneas críticas corresponde continuar el muestreo, dado que con la información obtenida hasta ese momento no es suficiente para determinar con cierta confianza si el material esta libre de plagas o no; c) por encima de la línea crítica superior, se detiene el muestreo y se procede a un reacondicionamiento de las unidades de exportación. Estas zonas de decisión se lograron establecer por medio de cuantiles ($Q_{(\alpha/2)}$ (límite inferior) y $Q_{(1-\alpha/2)}$ (límite superior) de la distribución de los conteos acumulados.

En el caso de las poblaciones plaga en campo escamas, moluscos y masas de huevos de tetigónidos las curvas de decisión de los planes de muestreo secuencial fueron elaboradas sobre la distribución estadística Binomial Negativa. Para el caso de la población plaga cicadélidos se empleó la distribución estadística Poisson para el plan de muestreo secuencial de adultos capturados en las trampas pegajosas; mientras que para la evaluación de sus masas de huevos se utilizó la distribución estadística Binomial.

6.3 Resultados

Se evaluaron nueve lotes de producción de *D. marginata* en cada zona de estudio. En la zona del Caribe se contó con un promedio de 31 puntos de muestreo y 279 *tips* muestreados por lote. En la zona Norte de se obtuvo un promedio de 27 puntos de muestreo y una inspección promedio de 243 *tips* por lote. Estas evaluaciones se realizaron en el transcurso de nueve meses a razón de una vez por mes.

6.3.1 Distribución espacial de plagas

Los conteos de poblaciones plaga de escamas, moluscos, ninfas y masas de huevos de cicadélidos, y masas de huevos de tetigónidos fueron ajustados a diversas distribuciones estadísticas de conteos. Esto en cada uno de los 18 lotes y para cada uno de los nueve meses de muestreo. En general para las plagas en estudio la distribución Binomial Negativa fue la mejor en ajustar (Cuadro 11). Sin embargo, pocos conteos de moluscos y de masas de huevos de cicadélidos (total, tipo 1, tipo 2 y tipo 3) presentaron ajustes a otras distribuciones (Ej. Binomial y Poisson).

Cuadro 11. Ajustes de los conteos de plagas cuarentenarias a distribuciones teóricas estadísticas

Plaga	Zona	
	Norte	Caribe
Moluscos	Binomial Negativa	Binomial Negativa / Binomial
Tetigónidos	Binomial Negativa	Binomial Negativa
Escamas	Binomial Negativa	Binomial Negativa
Ninfas moradas*	Binomial Negativa	Binomial Negativa
Ninfas verdes*	Binomial Negativa	Binomial Negativa
Otras ninfas*	Binomial Negativa	Binomial Negativa
Total ninfas*	Binomial Negativa	Binomial Negativa
Masa de huevo T1*	Binomial	Binomial
Masa de huevo T2*	Binomial	Binomial
Masa de huevo T3*	Binomial	Poisson / Binomial / Binomial negativa
Total masas de huevos*	Binomial	Binomial

* Cicadélidos

T1: masa de huevo de cicadélidos tipo 1

T2: masa de huevo de cicadélidos tipo 2

T3: masa de huevo de cicadélidos tipo 3

6.3.2 Tamaño mínimo de muestra

La función aritmética de la ley de potencia de Taylor permitió determinar el tamaño mínimo de muestra (*TMM*) para cada plaga de estudio. Esto con los conteos de escamas, moluscos, masas de huevos y ninfas de cicadélidos y masas de huevos de tetigónidos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Tamaño mínimo de muestra de plagas cuarentenarias asociadas a *Dracaena marginata*

Zona	Plaga	C^2	a	b	n
Caribe	Escamas	0,041	1,284	4,020	12,634
	Moluscos	0,017	0,395	2,530	15,367
	Ninfas moradas	0,031	0,527	1,090	20,807
	Ninfas verdes	0,014	0,726	2,580	71,839
	Otras ninfas	0,027	0,482	2,150	16,245
	Ninfas totales	0,011	0,566	3,300	123,803
	Masas de huevo T1*	-	-	-	-
	Masas de huevo T2*	0,007	0,432	2,460	46,661
	Masas de huevo T3*	-	-	-	-
	Huevos totales*	0,006	0,502	2,650	55,415
	Tetigónidos	0,009	0,295	1,410	49,533
Norte	Escamas	0,020	0,819	2,740	21,113
	Moluscos	-	-	-	-
	Ninfas moradas	0,046	0,844	2,870	20,277
	Ninfas verdes	0,007	0,887	1,000	78,284
	Otras ninfas	-	-	-	-
	Ninfas totales	0,006	0,705	1,610	97,147
	Masas de huevo T1*	-	-	-	-
	Masas de huevo T2*	0,009	0,684	2,130	70,817
	Masas de huevo T3*	0,012	0,795	2,900	27,783
	Huevos totales*	0,007	1,010	3,830	37,964
	Tetigónidos	-	-	-	-

C^2 : División entre el error estándar de los datos de abundancia (EE) y el promedio de abundancia (m)

a : Ordenada al origen

b : Grado de agregación

n : Número de muestra

*: Plaga cuarentenaria Cicadélidos

6.3.3 Densidad crítica

6.3.3.1 Densidad crítica para poblaciones plaga en campo

Se obtuvieron las densidades críticas para las plagas cuarentenarias escamas, moluscos y masas de huevos de cicadélidos y tetigónidos en los lotes de producción de *D. marginata* (Cuadro 13). Esto con la reducción del promedio general de cada plaga con su respectivo valor del 20%, de acuerdo a las evaluaciones mensuales del CSP en 18 lotes de producción dentro de las dos zonas de estudio por nueve meses de muestreo.

Cuadro 13. Densidades críticas para poblaciones plaga en campos de producción de Dracaena marginata

Plaga	Promedio	30%	50%	<i>dc</i>
Escamas	5,54	1,66	-	3,88
Moluscos	0,76	-	0,38	0,38
Tetigónidos*	0,72	-	0,36	0,36
Cicadélidos*	9,15	-	6,40	2,75

*Masas de huevos

6.3.3.2 Densidad crítica para poblaciones plaga en empacadora

6.3.3.2.1 Densidad crítica para *tips* a exportar como unidad muestral

El grado de infestación de plagas cuarentenarias (escamas, moluscos, masas de huevos de cicadélidos y tetigónidos), que se tolerará en lotes de producción y plantas empacadoras de *D. marginata* se estableció de acuerdo a la distribución teórica de conteos Binomial (éxito-fracaso). Al establecer una probabilidad de 0,95 de encontrar cero unidades muestrales infestadas, se obtuvo el valor de la *dc* despejándola de la ecuación de la distribución Binomial para cada tamaño de muestra (Cuadro 14).

Cuadro 14. Densidades críticas para distintos tamaños de muestra

UE	n	<i>dc</i>
10	1	0,05
20	2	0,03
30	3	0,02
40	4	0,01
50	5	0,01
60	6	0,01
70	7	0,01
80	8	0,01
90	9	0,01
100	10	0,01

UE: Unidades de *tips* a exportar

n: Tamaño de muestra de las unidades a exportar

dc: densidad crítica

Tamaños de muestras para la inspección de empacadora mayores a 10 unidades requieren de no encontrar ningún *tip* infestado con plagas cuarentenarias para no obtener una intercepción con un 95% de confiabilidad.

6.3.3.2.2 Densidad crítica para cajas con *tips* de exportación como unidad muestral

Para el cálculo de la dc en unidades de muestreo más complejas, como cajas de *tips* de *D. marginata* para exportación, se consideró trabajar con la distribución Binomial. Al igual que el caso anterior, a esta distribución se le aplicaron despejes de parámetros para obtener el cálculo de la dc estableciendo una probabilidad de 0,95 de encontrar cero unidades infestadas dentro de una caja (probabilidad de 95% de no intercepción). A este cálculo se le agregó un factor de peso que fue el número de cajas a inspeccionar (B).

$$dc = B \left(1 - \sqrt[n]{0,95} \right)$$

La ecuación anterior depende del conocer dos parámetros para el cálculo de la dc : B número de cajas con *tips* de *D. marginata* a examinar, y n número de *tips* empacados en la i -ésima caja. Esto justificó establecer valores para el parámetro dc y determinar la probabilidad de detectar cajas infestadas, en un número determinado de cajas a inspeccionar (B) (Cuadro 15).

Cuadro 15. Probabilidad de detección de cajas infestadas para distintos valores de densidad crítica y cajas inspeccionadas

NC	B	Densidad crítica							
		0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,005	0,001	0,0001
50	1	0,9230	0,8701	0,7819	0,6358	0,3949	0,2217	0,0488	0,0050
100	2	0,9941	0,9831	0,9524	0,8673	0,6339	0,3942	0,0952	0,0100
200	4	0,9999	0,9997	0,9977	0,9824	0,8660	0,6330	0,1814	0,0198
300	6	1,0000	0,9999	0,9998	0,9976	0,9509	0,7777	0,2593	0,0296
400	8	1,0000	0,9999	0,9999	0,9996	0,9820	0,8653	0,3298	0,0392
500	10	1,0000	1,0000	0,9999	0,9999	0,9934	0,9184	0,3936	0,0488
1000	20	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9934	0,6323	0,0952
1500	30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9995	0,7770	0,1393
3000	60	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9999	0,9503	0,2592

NC: Número de cajas exportadas

B: Número de cajas inspeccionadas

El tipo de muestreo desarrollado en la inspección de cajas de exportación con *tips* de *D. marginata* en US se basa en un tamaño de muestra del 2% de las cajas de exportación por cada una de las presentaciones del producto (Venette et ál. 2002). Una presentación consiste en las combinaciones de las variables tipo de productor, la variedad de exportación, el tamaño de los *tips* y la presencia o ausencia de raíz en los *tips*.

Esta metodología (inspección del 2% de las cajas con *tips* de exportación) se ve corregida para números de cajas de exportación menor a 50. En estos casos se inspecciona una caja seleccionada al azar, lo que hace que la probabilidad para la selección del tamaño de muestra sea mayor a 2% (Ej. Una caja de inspección de 40 cajas de exportación por presentación representa un 2,5%).

Al observar las probabilidades asociadas de encontrar cajas infestadas en los envíos de exportación de *D. marginata* para cada valor de *dc*, se determinó que se debe de escoger como umbrales de acción a los valores de 0,001 ó 0,0001. Estos niveles de tolerancia presentaron las probabilidades más bajas de registrar una nueva interceptación del material de exportación de *D. marginata* con una confiabilidad del 95%.

6.3.4 Curvas de decisión

6.3.4.1 Evaluación de poblaciones plaga en campo de producción

6.3.4.1.1 Evaluación de población de escamas en el campo de producción

En la elaboración de las curvas de decisión del plan de muestreo secuencial para las escamas en los campos de producción se utilizó la distribución Binomial Negativa. Esto porque los conteos de escamas en los 18 lotes evaluados a través de los nueve meses de muestreo se ajustaron a esta distribución de conteos ($p > 0,0500$).

Para la estimación de la media de conteos poblacionales (parámetro requerido en la elaboración de los planes de muestreo secuencial), se utilizó el promedio general de escamas observadas en cada lote de producción. Esto es aproximadamente 5,5493 escamas en cada lote de producción. De lo anterior se obtuvo el plan de muestreo secuencial para la población de escamas en los campos de producción de *D. marginata* y su respectiva distribución de curva de potencia (Cuadro 16).

Cuadro 16. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de escamas en los lotes de producción

n	LI	M	LS	Pot
10	19	39	63	0,36
15	35	59	86	0,44
20	50	78	108	0,51
25	66	96	130	0,59
30	82	117	152	0,66
35	98	135	174	0,73
40	115	154	197	0,78
45	131	175	219	0,83
50	148	194	241	0,86
55	165	214	263	0,89
60	182	234	285	0,92
65	200	252	307	0,94
70	217	272	328	0,95
75	235	290	350	0,96
80	253	309	372	0,97
85	271	329	394	0,97
90	289	352	416	0,98
95	308	372	437	0,99
100	387	387	387	0,99

n: Tamaño de muestra (puntos de muestreo)

LI: Límite inferior de la media (número de escamas)

M: Media (número de escamas)

LS: Límite superior de la media (número de escamas)

Pot: Potencia

6.3.4.1.2 Evaluación de masas de huevos de tetigónidos en el campo de producción

En el caso de las curvas de decisión del plan de muestreo secuencial para evaluar masas de huevos de tetigónidos en los campos de producción se utilizó la distribución Binomial Negativa. Esto porque al igual que las escamas los conteos de esta plaga cuarentenaria en los 18 lotes evaluados a través de los nueve meses de muestreo se ajustaron a esta distribución de conteos ($p > 0,0500$).

Para la estimación de la media de conteos poblacionales se utilizó el promedio general de masas de huevos de tetigónidos observadas en cada lote de producción. Esto es aproximadamente 0,7222 masas de huevos de estos insectos plaga en cada lote de producción. Con lo anterior se obtuvo el plan de muestreo secuencial para la plaga cuarentenaria masas de

huevos de tetigónidos en las producciones de *D. marginata* y su respectiva distribución de curva de potencia (Cuadro 17).

Cuadro 17. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de masas de huevos de tetigónidos en los lotes de producción

n	LI	M	LS	Pot
10	0	4	8	0,41
15	1	6	11	0,49
20	2	7	13	0,56
25	3	9	16	0,63
30	4	11	18	0,70
35	5	13	20	0,77
40	6	14	23	0,82
45	8	17	25	0,86
50	9	18	27	0,88
55	10	20	30	0,91
60	12	21	32	0,93
65	13	23	34	0,94
70	14	25	36	0,96
75	16	27	39	0,97
80	17	29	41	0,97
85	19	31	43	0,98
90	21	32	45	0,99
95	22	34	47	1,00
100	36	36	36	1,00

n: Tamaño de muestra (puntos de muestreo)

LI: Límite inferior de la media (número de masas de huevos de tetigónidos)

M: Media (número de masas de huevos de tetigónidos)

LS: Límite superior de la media (número de masas de huevos de tetigónidos)

Pot: Potencia

6.3.4.1.3 Evaluación de la población de moluscos en el campo de producción

Las curvas de decisión del plan de muestreo secuencial para evaluar la presencia de moluscos en los *tips* de *D. marginata* se realizó por medio de la distribución Binomial Negativa. Lo anterior porque los conteos de moluscos en los 18 lotes evaluados a través de los nueve meses de muestreo se ajustaron a esta distribución de conteos ($p > 0,0500$).

En la estimación de la media de conteos poblacionales para el caso de los moluscos fue de aproximadamente de 0,76 moluscos en cada lote de producción. Con lo que se generó un

plan de muestreo secuencial para esta plaga en las producciones de *D. marginata* y su respectiva distribución de curva de potencia (Cuadro 18).

Cuadro 18. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de moluscos en los lotes de producción

n	LI	M	LS	Pot
10	0	4	9	0,40
15	1	6	11	0,49
20	2	8	14	0,57
25	3	10	16	0,65
30	4	11	19	0,72
35	6	13	21	0,80
40	7	15	23	0,85
45	8	17	26	0,88
50	10	19	28	0,91
55	11	21	31	0,93
60	13	23	33	0,94
65	14	25	36	0,96
70	16	27	38	0,97
75	17	29	41	0,97
80	19	31	43	0,98
85	21	32	45	0,99
90	23	35	48	0,99
95	24	37	50	1,00
100	38	38	38	1,00

n: Tamaño de muestra (puntos de muestreo)

LI: Límite inferior de la media (número de moluscos)

M: Media (número de moluscos)

LS: Límite superior de la media (número de moluscos)

Pot: Potencia

6.3.4.1.4 Evaluación de la población de cicadélidos en el campo de producción

6.3.4.1.4.1 Masas de huevos de cicadélidos en *tips* de *D. marginata*

Para la evaluación de los insectos plagas cicadélidos (masas de huevos) se elaboró un plan de muestreo secuencial realizó por medio de la distribución Binomial porque los conteos de las masas de huevos de esta plaga en los 18 lotes evaluados a través de los nueve meses de muestreo se ajustaron a esta distribución de conteos ($p > 0,0500$).

En la estimación de la media de conteos poblacionales para el caso de las masas de huevos de cicadélidos fue de aproximadamente de 9,1543 masas de huevos de cicadélidos en cada lote de producción. De acuerdo a los anteriores datos se elaboró un plan de muestreo secuencial para esta plaga en las producciones de *D. marginata* (Cuadro 19). La curva de potencia de este plan de muestreo secuencial fue constante para cualquier tamaño de muestra con un valor de 100%.

Cuadro 19. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la evaluación de masas de huevos de cicadélidos en los lotes de producción

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>
10	17	27	38
15	29	42	53
20	41	55	69
25	53	68	84
30	65	82	100
35	78	97	115
40	90	110	130
45	102	124	145
50	115	137	160
55	127	151	175
60	140	166	189
65	152	178	204
70	165	193	219
75	178	206	233
80	191	221	247
85	204	234	262
90	217	247	276
95	230	261	290
100	274	274	274

n: Tamaño de muestra (puntos de muestreo)

LI: Límite inferior de la media (número de masas de huevos de cicadélidos)

M: Media (número de masas de huevos de cicadélidos)

LS: Límite superior de la media (número de masas de huevos de cicadélidos)

Pot: Potencia

6.3.4.1.4.2 Inspección de cicadélidos adultos capturados en trampas pegajosas

En la elaboración de las curvas de decisión de los planes de muestreo secuencial para campo de producción se utilizó la distribución Poisson. Esto porque los conteos de cicadélidos

adultos capturados en las trampas pegajosas en cada una de las 21 observaciones independientes en los lotes evaluados se ajustaron a esta distribución de conteos ($p > 0,0500$).

Para la estimación de la media de conteos poblacionales (parámetro requerido en la elaboración de los planes de muestreo secuencial), se utilizó un lambda (λ) igual a 2; y el cálculo de las curvas de decisión fue realizado con valor de dc un promedio de 2,5¹⁰ cicadélidos capturados en las trampas pegajosas. De lo anterior se obtuvo el plan de muestreo secuencial para campos de producción de *D. marginata* (Figura 23; Anexo 4) y su respectiva curva de potencia (Figura 24).

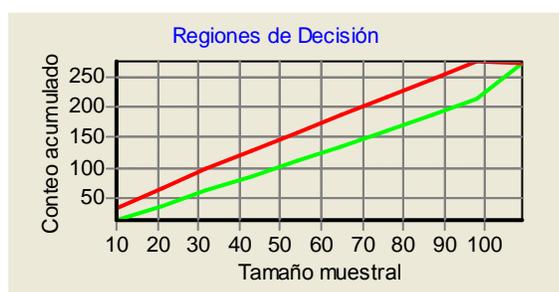


Figura 23. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial para la captura de cicadélidos en trampas pegajosas con una distribución Poisson (λ).

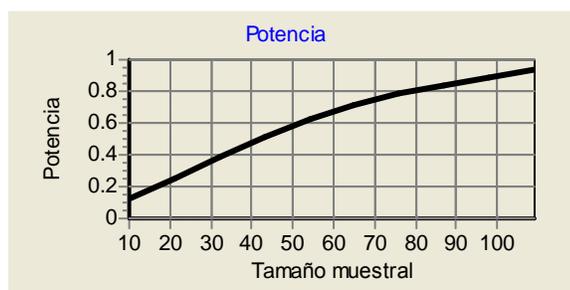


Figura 24. Curva de potencia de plan de muestreo secuencial para la captura de cicadélidos en trampas pegajosas.

6.3.4.2 Empacadora

En la elaboración de las curvas de decisión de los planes de muestreo secuencial para la empacadora se utilizó la distribución Binomial. Esto porque los conteos de plagas

¹⁰ Promedio de cicadélidos capturados en la trampa pegajosa asociado a la presencia de tips infestados con masas de huevos de cicadélidos en empacadora.

cuarentenarias más significativas (masas de huevos de cicadélidos), en los campos de producción de las dos zonas de estudio, obtuvieron un buen ajuste a esta distribución estadística.

Para la estimación de un valor general de unidades infestadas en la empacadora (parámetro requerido en la elaboración de los planes de muestreo secuencial), se utilizaron los datos de las inspecciones realizadas en estas zonas de embalaje por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en exportaciones de *D. marginata* para el mercado estadounidense. Las inspecciones fueron realizadas en los años 2006 y 2007. Así, la estimación del parámetro se dio con el cálculo de la media y del máximo de las proporciones de *tips* de *D. marginata*, infestados con plagas cuarentenarias en los envíos de exportación. Estos cálculos fueron de un 4 y 15% respectivamente.

6.3.4.2.1 *Curvas de decisión para tips a exportar como unidad muestral*

Se seleccionó un nivel de significancia de un 5% ($\alpha = 0,05$), para obtener una confiabilidad en los resultados del muestreo secuencial de 95%. Dando como resultado las zonas de decisión de los planes de muestreo secuencial para valores de densidad crítica de 1, 2, 3, 4 y 5% con los valores generales de la proporción de unidades infestadas con plagas cuarentenarias (la media o el máximo) (Figura 25; Anexos 5 – 14), y las respectivas curvas de potencia de los planes de muestreo secuencial (Figura 26).

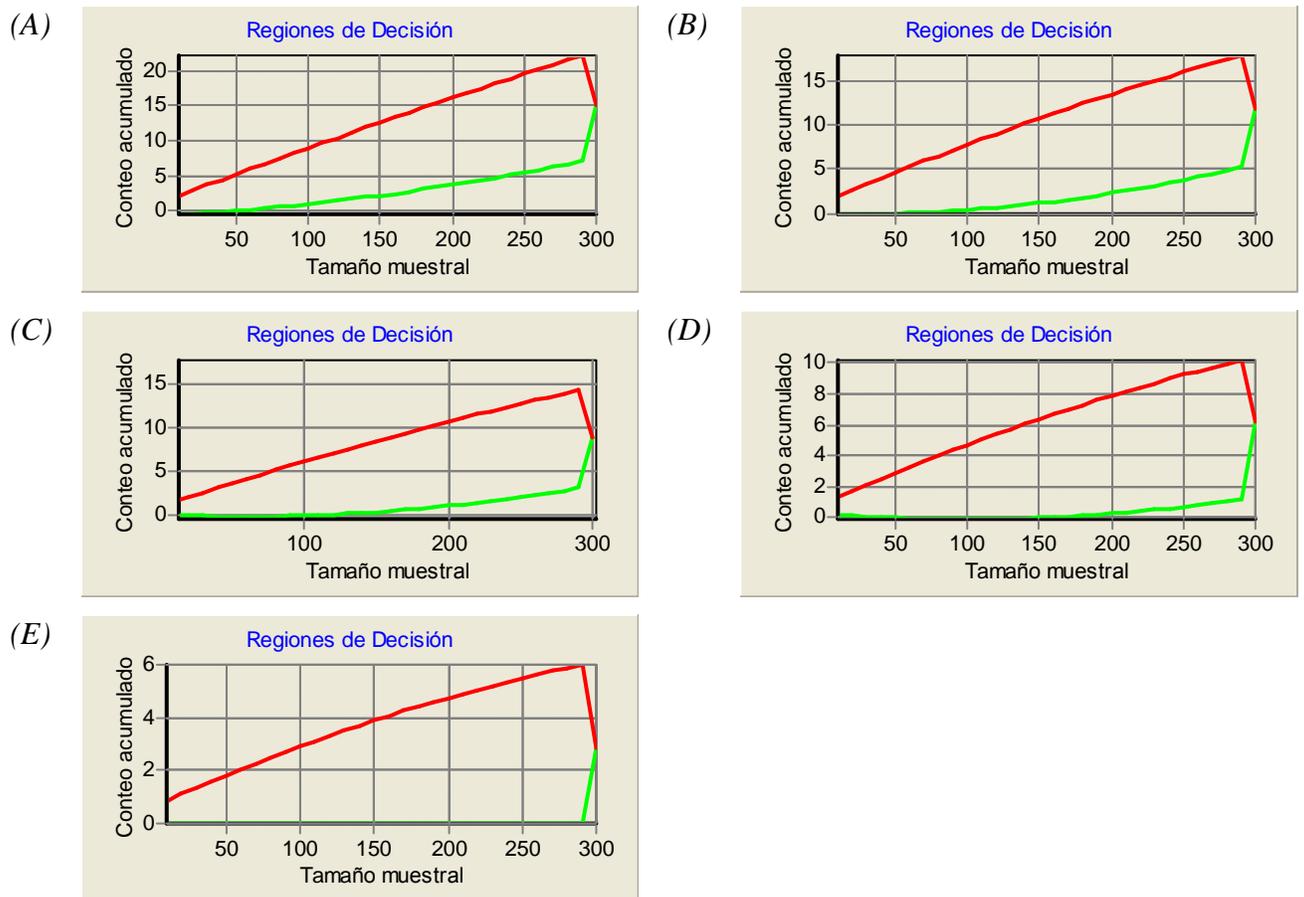


Figura 25. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,05; (B) 0,04; (C) 0,03; (D) 0,02 y (E) 0,01 con una distribución Binomial (m, n).

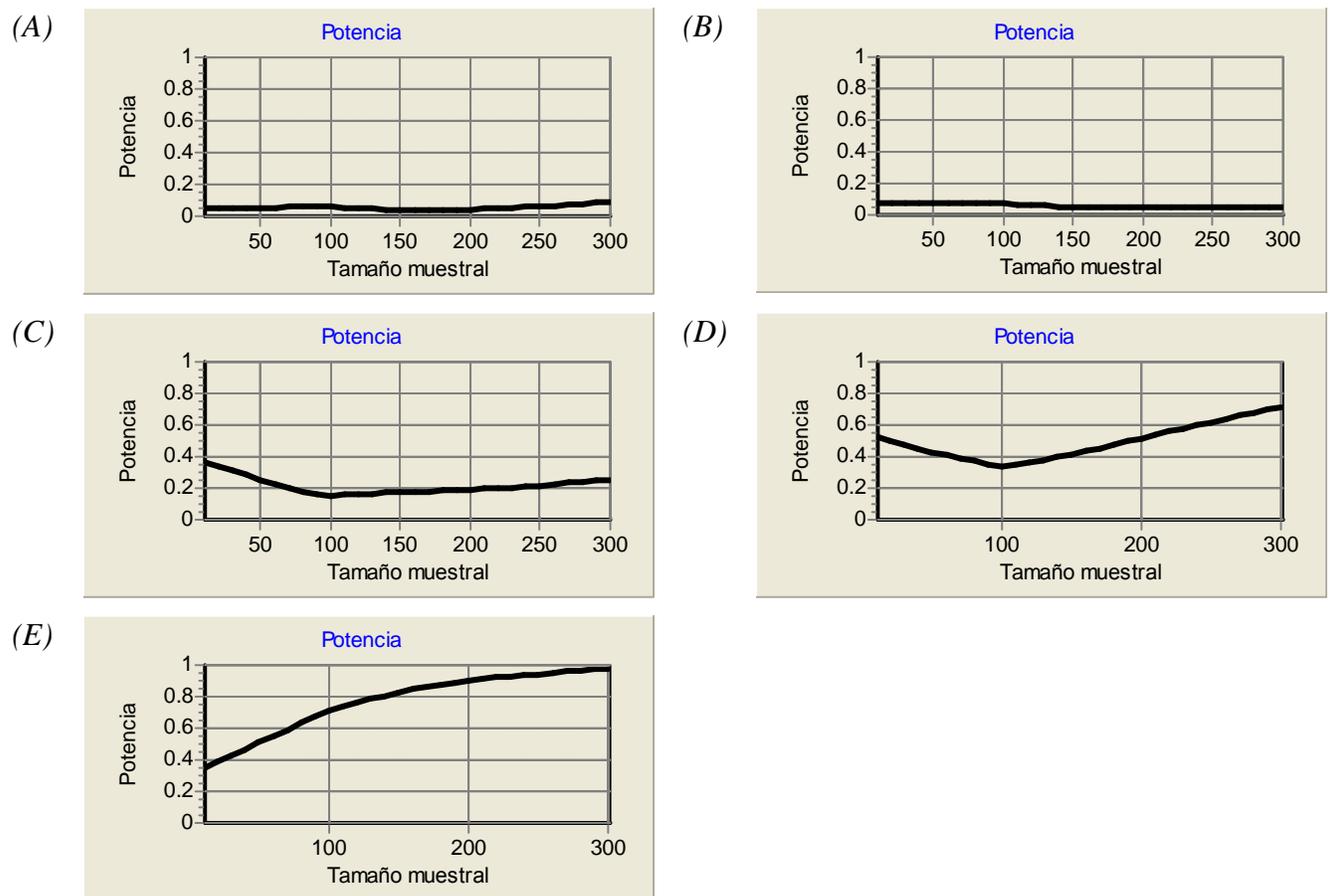


Figura 26. Curvas de potencia de planes de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,05; (B) 0,04; (C) 0,03; (D) 0,02 y (E) 0,01 con media de conteos poblacional 0,0412.

Las curvas de potencia de los valores de dc con el máximo de proporción de tips infestados con plagas cuarentenarias (15%) presentaron una potencia muy cercana al 100% en todos los valores de tamaños de muestra.

6.3.4.2.2 Curvas de decisión para cajas con tips de exportación como unidad muestral

Se seleccionó un nivel de significancia de un 5% ($\alpha = 0,05$), para obtener una confiabilidad en los resultados del muestreo secuencial de 95%. Dando como resultado las zonas de decisión de los planes de muestreo secuencial para cada valor de densidad crítica (0,001 y 0,0001), para cada valor del parámetro media poblacional (la media o el máximo), y

con un valor promedio de *tips* de *D. marginata* en cajas de 50 unidades (Figura 27; Anexos 15 – 16), y las respectivas curvas de potencia de los planes de muestreo secuencial (Figura 28).

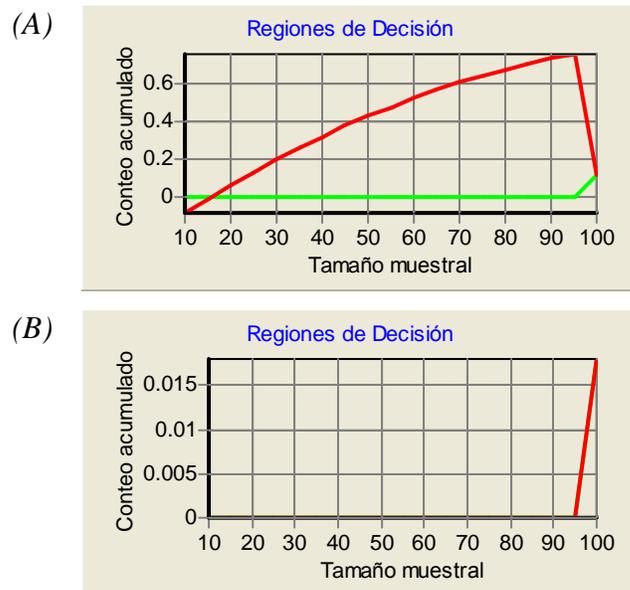


Figura 27. Curvas de decisión de plan de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,001 (B) 0,0001 con media de conteos poblacional 0,0412 con una distribución Binomial (m, n).

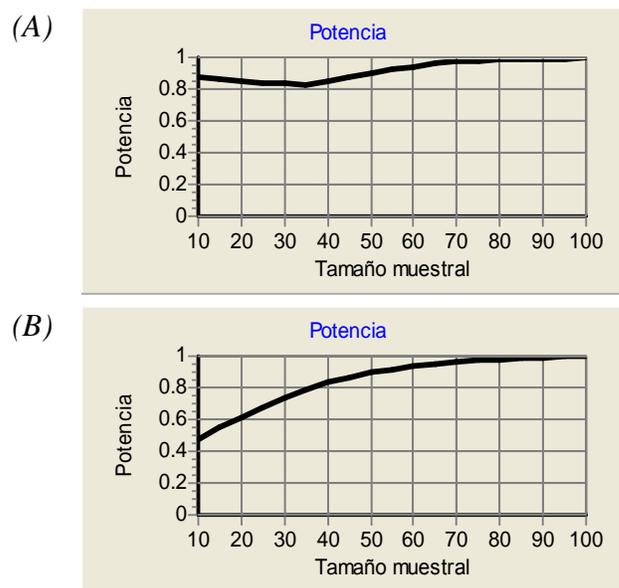


Figura 28. Curvas de potencia de planes de muestreo secuencial en empacadora para distintos valores porcentuales de densidad crítica: (A) 0,001; (B) 0,0001 con media de conteos poblacional 0,0412.

Las curvas de potencia de los valores de dc con el máximo de proporción de tipos infestados con plagas cuarentenarias (15%) presentaron una potencia muy cercana al 100% en todos los valores de tamaños de muestra.

6.4 Discusión

El comportamiento de las plagas: escamas, moluscos, tetigónidos (masas de huevos), y cicadélidos (masas de huevos y ninfas) en lotes de producción de *D. marginata* varía con respecto a las zonas y a través del periodo de tiempo en estudio. Esta variación puede deberse a factores climáticos, característicos de cada zona, o por diferentes controles de plagas cuarentenarias efectuadas por los productores (Prado 2006). Sin embargo se logró determinar el mismo tipo de distribución espacial de las plagas en las dos zonas de producción.

6.4.1 Distribución espacial

La distribución espacial de las escamas en los lotes de producción de *D. marginata* se presentó de modo agregada, comportamiento observado por otros autores para este género (Suris 1996, Blank et ál. 2000, González et ál. 2005). En el estudio de este insecto plaga otros autores han caracterizado esta distribución como tigmotóxica, donde los individuos tienen a agruparse junto a grietas, salientes y otros individuos de su misma especie dentro de las hojas de sus hospederos (Arias 1988, Monge et ál. 1990).

El agrupamiento de estos insectos puede deberse a la búsqueda del mayor flujo de savia en las hojas o por la tendencia que tienen algunas especies de asentarse junto a la madre formando varias capas de individuos, para defenderse de depredadores y/o parasitoides. Monge et ál. (1990) definen este mecanismo biológico como altruismo por selección parental, donde las escamas altruistas de las capas superiores se sacrifican para la preservación de su patrimonio genético.

Para el caso de producción de *D. marginata* hay que tener en cuenta que la presencia de esta plaga esta influenciada por la edad de la planta y el follaje de la misma (Prado 2006). Las plantas jóvenes con menor follaje están más propensas a tener mayores infestaciones que plantas maduras y con follaje más denso (Smith et ál. 1997).

Las poblaciones de moluscos, en los lotes de producción, presentaron una distribución espacial de modo agregado. Este tipo de distribución puede estar asociada a los primeros estados, ya que las hembras depositan los huevos en lugares húmedos y protegidos. La puesta de huevos es de aproximadamente de 15 a 50 huevos (Pape 1976). Por otra parte, el comportamiento de los adultos es distinto por tratarse de individuos aislados con poca locomoción, lo que origina variación genética específica e intraespecífica (Prado 2006).

Otra plaga cuarentenaria que posee una distribución espacial de modo agregado en los lotes de producción de *D. marginata* son los tetigónidos (masas de huevos). Según Hjermand (s.f), muchas especies de grillos y saltamontes forman agregaciones por comportamientos en búsqueda de alimento y copulación. Además, las características de las plantas hospederas y los

micro-hábitats (temperatura y humedad) de los sistemas de producción influyen en la distribución y ciclo de vida de estos insectos (Kemp et ál. 1990).

Los conteos de ninfas de cicadélidos (totales, moradas, verdes y otras), presentaron un buen ajuste a la distribución Binomial Negativa. Este ajuste mostró durante el periodo de estudio dentro de cada zona, presentando una distribución de espacial de tipo agregado. Muchos estudios han reportado este tipo de distribución espacial en esta familia de insectos (*Cicadellidae*), tanto para los primeros estadios como para el caso de los adultos (Farias et ál. 2003; Beers y Jones 2004; Lessio y Alma 2004; Lessio y Alma 2006). Según Bosco et ál. (1997) la distribución de modo agregado en las ninfas de cicadélidos es producto de la agregación encontrada en los adultos y en las cantidades de huevos depositados por las hembras. Se han podido apreciar masas de huevos de cicadélidos con más de 25 huevos (observación personal). Además, los cicadélidos no se alejan mucho de la planta hospedero en donde fueron asentados por primera vez (Lessio y Alma 2006). Se han reportado distribuciones similares en ninfas cicadélidos como *Empoasca vitis*, *Jacobiasca lybica* y *Perkinsiella saccharicida* (Lessio y Alma 2006).

La distribución espacial de modo agregado en los géneros *Oncometopia* sp. (posibles ninfas moradas), y *Empoasca* sp. (posibles ninfas verdes) ha sido reportada en varios periodos del año (Lessio y Alma 2006; Maruyama et ál. 2006). Concluyendo que la agregación de estos insectos plaga se da en los márgenes de los campos de producción y en las zonas elevadas. Además estas agregaciones están influenciadas por factores de microclima y micro paisaje pertenecientes a cada lote de producción (Emmen et ál. 2004) como bordes de bosques u otras plantaciones.

Aunque la distribución espacial de ninfas y adultos de cicadélidos ha sido reportada de modo agregado, los conteos de sus masas de huevos (totales, tipo 1, tipo 2 y tipo 3) en *tips* de *D. marginata* presentaron mejores ajustes a la distribución estadística Binomial. Esto puede indicar que en el momento de la oviposición las hembras se alejan de los conglomerados de población, depositan las masas de huevos y regresan a los conglomerados. Este comportamiento que puede estar asociado a la protección de las masas de huevos de depredadores como arañas, mantis y libélulas, y parasitoides como las avispas del género *Gonatocerus* sp. (Tipping y Mizel III 2004). Además, se ha observado que las hembras de

algunos géneros de cicadélidos reportan diferentes distribuciones con respecto a los machos producto de la oviposición de sus masas de huevos (Kersting et ál. 1997).

6.4.2 Densidad crítica

Un fundamento básico del MIP es tolerar un pequeño número de plagas individuales y tomar una acción correctiva o de control cuando el número de plagas o unidades con plaga alcanza un nivel excesivo. Para el control del nivel excesivo de plagas se definió el concepto de *dc* o umbral de acción (Barfield 1989, Condoretty y Condoretty s.f., Acuña 2002).

En el caso específico de las plagas en lotes de producción de *D. marginata* se establecieron distintos valores de *dc* para dos etapas de la cadena de producción y exportación de los *tips* de esta planta ornamental (el campo y empacadora) para mercado de los Estados Unidos. En campo se estableció una *dc* promedio de 2,5 cicadélidos capturados en las trampas pegajosas, ya que este es el punto por arriba del cual se encontraron cicadélidos en las inspecciones de empacadoras (Marschall 2007). En empacadora se establecieron distintos valores de densidad crítica acorde a cada tipo de muestreo empleado en las inspecciones de *tips* a exportar para obtener el 95% del material de exportación libre de plagas. Sin embargo, el valor de *dc* en empacadora debe ser menor si se quiere menores probabilidades de detectar cajas (de *tips*) o *tips* (individuales) infestados para la reducción del número de intercepciones en los puertos de los Estados Unidos y/u otros mercados.

6.4.3 Planes de muestreo secuencial para evaluación de cicadélidos con trampas pegajosas

El uso de planes de muestreo secuencial ha adquirido gran popularidad para el control de plagas en diversidad de cultivos. Esto por tratarse de una metodología menos compleja que implica la evaluación del menor número de unidades para la toma de decisiones (Burkness et ál. 1999).

La elaboración de las curvas de decisión del plan de muestreo secuencial, para la evaluación e inspección de plagas cuarentenarias en lotes de producción de *D. marginata*, se basó en la verdadera distribución de las masas de huevos de cicadélidos (Binomial). Esto

porque la presencia de estas masas de huevos en los *tips* de exportación ha sido el principal causante del número de intercepciones realizadas en los puertos de los Estados Unidos (CSP 2005). El conocimiento de la distribución espacial de las plagas en estos campos de producción mejora el control de plagas y la toma de muestras para el estudio de sus poblaciones (Emmen et ál. 2004).

Para la construcción de las zonas de decisión se utilizó el programa estadístico SeqSam. Este programa actúa sobre la distribución real de los datos (Casanoves y Di Rienzo 2006) y no con una aproximación a otras distribuciones (Ej. normal), como lo hacen otros programas estadísticos (RSVM, Naranjo y Hutchinson 1997). El trabajar bajo la verdadera distribución espacial de la plaga permite controlar suposiciones implícitas que han obstaculizado la utilidad del muestreo secuencial en los programas de MIP como la agregación de las plagas y la relación de la varianza con su media (Barfield 1989). Además las curvas de decisión de los planes de muestreo bajo la verdadera distribución de la plaga tienen la particularidad de no ser simétricas debido a que la varianza es función de la media (Casanoves y Di Rienzo 2006).

Los planes de muestreo secuencial para la empacadora fueron desarrollados para distintos tipos de muestreo y diferentes valores de dc . Esto permitirá la selección del mejor plan de acción que este más ajustado a la realidad. Entre menor sea el valor de dc menor será la probabilidad de encontrar *tips* o cajas de *tips* de exportación con plagas cuarentenarias; sin embargo, el uso de un valor de dc muy bajo en las inspecciones del material de exportación podría estar afectado en el tiempo requerido y en costos de inspección del personal de empacadora y/o inspectores públicos, ya que esto conlleva a un aumento del número de *tips* a inspeccionar para alcanzar una potencia aceptable.

Sea cual sea la decisión del valor de dc a utilizar en las inspecciones de los materiales de exportación de *D. marginata*, es preciso hacer énfasis en la rigurosidad por parte de las personas encargadas de las inspecciones (gerentes de empresas, inspectores de instituciones publicas o privadas). Esto porque las dracaenas son hospederos de una gran lista de plagas cuarentenarias que tienen distintos comportamientos a través del tiempo. Lo que indica que constantemente se estará propenso a tener *tips* de exportación infestados por plagas

cuarentenarias ya sea por escamas, moluscos y/o masas de huevos de tetigónidos y/o cicadélidos.

6.5 Conclusiones

A pesar de las poblaciones plaga varían dentro y fuera de las zonas de estudio se encontró una distribución espacial de modo agregada (ajuste a la distribución Binomial Negativa) para el caso de escamas, moluscos, ninfas de cicadélidos y masas de huevos de tetigónidos.

Para el control de las poblaciones de los insectos plaga cicadélidos se desarrolló un plan de muestreo secuencial para el uso de las trampas pegajosas estableciendo como dc el promedio de cicadélidos capturados (2,5 cicadélidos en 8 trampas pegajosas).

La estimación de la dc en los planes de muestreo secuencial para empacadora depende del tamaño del embarque a inspeccionar.

Se elaboraron distintos planes de muestreo secuencial con variedad en los valores de los parámetros poblacionales para cada unidad y/o tipo de muestreo dentro de la empacadora.

6.6 Recomendaciones

Se debe de utilizar los planes de muestreo secuencial provistos para el control de plagas cuarentenarias en campo y zonas de embalaje para la exportación de tipos de *D. marginata* al mercado de Estados Unidos u otro destino de exportación. Estos planes de muestreo para el control de calidad están elaborados bajo la verdadera distribución espacial, en campo, de las principales plagas causantes del número de intercepciones realizadas en los puertos de los Estados Unidos (masas de huevos de cicadélidos, masas de huevos de tetigónidos, moluscos y escamas). Además estos planes de muestreo secuencial son una herramienta poco compleja que actúa en la evaluación del menor número de unidades para una rápida toma de decisiones.

Los planes de muestreo secuencial que se deben de aplicar en empacadora son los que poseen la menor densidad crítica y la estimación de la media poblacional que genera el mayor

cálculo de potencia en la estimación de parámetros poblacionales. Además, se debe de considerar como un tamaño mínimo de muestra para la aplicación de esta herramienta aquel tamaño de muestra que posee un cálculo de potencia aproximado a 80%.

Determinar los períodos de mayor aumento de poblaciones plaga (picos poblacionales) en las producciones de *D. marginata*, ya que esto les permitirá conocer a productores, exportadores e inspectores las cosechas con mayores infecciones de plagas y mejorar el trabajo de la evaluación de plagas en los envíos de exportación para reducir el riesgo de una futura intercepción.

6.7 Bibliografía

- Acuña, J. 2002. Control de calidad: un enfoque integral y estadístico. Tecnológica de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 688 p.
- Arias, J. 1988. Aspectos de la biología y la ecología de las poblaciones de la escama como *Lepidosaphes beckii* (Newman) y la escama fina *L. gloveri* (Packard) (Homóptera: Diaspididae), plagas de los cultivos de cítricos en Costa Rica. Tesis de grado de maestría. San José. Costa Rica. Escuela de Biología. UCR. 100 p.
- Barfield, C. 1989. El muestreo en el manejo integrado de plagas. *In*: Andrews, K; Rutilio, J. 1989. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: estado actual y futuro. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana el Zamorano. 623 p.
- Beers, EH; Jones, VP. 2004. Fixed precision sampling plans for White Apple Leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) on Apple. *Journal of Economic Entomology*. 97 (5): 1752-1755.
- Blank, RH; Gill, GS; McKenna, CE; Stevens, PS. 2000. Enumerative and binomial plans for armored scale (Homoptera: Diaspididae) on Kiwifruit leaves. *Journal of Economic Entomology*. 93 (6): 1752-1759.

- Bosco, D; Alma, A; Arzone, A. 1997. Studies on population dynamics and spatial distribution of leafhoppers in vineyards (Homoptera: Cicadellidae). *Annals of Applied Biology*. 130 (1): 1-11.
- Burkness, E.C; Venette, P.K; O'Rourke, P.K; Hutchison, W.D. 1999. Binomial sequential sampling for management of Aster Leafhopper (Homoptera: Cicadellidae) and Aster yellows phytoplasma in carrot: impact of tally threshold on the accuracy of treatment decisions. *Environmental Entomology*. 28 (5): 851-857.
- Casanoves, F; Di Rienzo, J. 2006. SeqSam, un programa para la elaboración de planes de muestreo secuencial. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 77: 94-101.
- Colpetzer, K. 2005. Importation of oversized *Dracaena* for ornamental purposes from Costa Rica into the United States: a qualitative Pathway- Initiated Risk Assessment. United States. 96 p.
- Condoretty, M; Condoretty, D. S.f. Uso y manejo seguro de plaguicidas en Paraguay. Ediciones y Artes ILSE SIRVENT. Paraguay. 28 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2005. Innovación tecnológica para la generación de material propagativo sano de *Dracaena marginata* Para el mercado de exportación estadounidense. San José, Costa Rica. 83 p.
- CSP (*Clean Stock Program* Proyecto *Dracaena*). 2006. Insectos asociados al cultivo de *Dracaena marginata*. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 4 p.
- Emmen, DA; Fleischer, S.; Hower, A. 2004. Temporal and spatial dynamics of *Empoasca fabae* (Harris) (Homoptera: Cicadellidae) in alfalfa. *Environmental Entomology*. 33 (4) 890-899.
- Farias, PR; Roberto, SR; Lopes, JR; Perecin, D. 2003. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xylella fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. *Neotropical Entomology*. 33(1): 13-20.

- Gámez, E; Murillo, A. 2005. Evaluación de diferentes productos comerciales para minimizar la incidencia de *Flecking* en Marginata, *Dracaena cincta*. Guácimo. Costa Rica. EARTH. 51p.
- Gentleman, R; Ihaka, R. 1997. Statistical data analysis R (2.3.1). United States. Statistics Department of the University of Auckland.
- González, C; Cáceres, S; Gómez, M; Fernández, M; Hernández, D; Tapia, J. 2005. *Lepidosaphes gloverii* (Hemiptera: Diaspididae), estudios biológicos y ecológicos en cítricos de Cuba. Revista de la Sociedad Entomológica Argentina. 64: (1-2).
- Gyenge, J; Trumper, E; Edelstein, J. 1999. Diseño de planes de muestreo con niveles fijos de precisión del Pulgón Manchado de la Alfalfa, *Therioaphis trifolli* Monell (Homoptera: Aphididae) en Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Proteção de Plantas. Society Entomology. 28 (4): 729-734.
- Hjermann, D. S.f. The condition of individual bush-cricket influence their spatial distribution. (En línea). Consultado 26 de oct. 2007. Disponible en <http://folk.uio.no>
- Instituto Meteorológico Nacional. 2007. Clima de Costa Rica. (En línea). Consultado 1 de may. 2007. Disponible en: <http://www.imn.ac.cr>
- Kemp, W; Harvey, S; O'Neill, K. 1990. Patterns of vegetation and grasshopper community composition. Oecology. 83: 299-308.
- Kersting, U; Baspinar, H; Uygun, N; Satar, S. 1997. Comparison of two sampling methods for leafhoppers (Homoptera, Cicadellidae) associated with sesame in the east mediterranean region of Turkey. Journal of Pest Science. 70 (7): 131-135.
- Lessio, F; Alma, A. 2004. Dispersal patterns and chromatic response of *Scaphoideus titanus* ball (Homoptera: Cicadellidae), vector of the phytoplasma agente of grapevine flavescence dorée. Agricultural and Forest Entomology. 6: 121-127.

- Lessio, F; Alma, A. 2006. Spatial distribution of Nymphs of *Scaphoideus titanus* (Homoptera: Cicadellidae) in grapes, and evaluation of sequential sampling plans. *Sampling and Biostatistics*. 99 (2): 578-582.
- Maruyama, WI; Barbosa, JC; Toscano, LC. 2006. Distribuição espacial de *Oncometopia facialis* (Signoret) (Hemiptera: Cicadellidae) em Pomar cítrico. *Neotropical Entomology*. 35(1): 93-100.
- Monge, J; Retana, AP; Arias, J. 1990. Distribución de insectos escama (Homoptera: Coccoidea) en *Citrus* y eclosión del parasitoide *Aphytis* (Hymenoptera: Aphelinidae). *Agronomía Costarricense*. 14 (2): 241-246.
- Pape, H. 1976. Plagas de las flores y plantas ornamentales. OIKOS-TAU. Barcelona. España. 656 p.
- Prado, J. 2006. Desarrollo de protocolos de muestreo y evaluación de la relación de prácticas agrícolas con la población de plagas cuarentenarias en *Dracaena marginata* en costa rica. Tesis de grado de maestría. Turrialba. Costa Rica. CATIE. 144 p.
- Smith, D; Beattle, G; Broadley, R. 1997. Citrus pests and their natural enemies: integrated pest management in Australia. Queensland.. United States. Department of Primary Industries. 282 p.
- Suris, M. 1996. Estructura espacial y método de muestreo de *Selenaspidus articulatus* (Morgan) y *Planococcus spp. en cafeto* (Homoptera: Coccoidea). Tesis de grado Doctoral. Habana. Cuba. Universidad de La Habana. 98 p.
- Taylor, LR. 1984. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations. *Annual Review of Entomology* 29: 321-359.
- Tipping, C; Mizell, R.F. 2004. Sharpshooters, Leafhoppers, Cicadellidae (Insecta: Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae). EENY-334. 8 p.
- Tomeu, B. 1990. Estudio de factibilidad para la producción y exportación de tres tipos de plantas ornamentales (*Aglaonema sp. Dracaena marginata* y *Yuca elephantipes*) al

Mercado Norteamericano. Tesis de licenciatura en economía agrícola. San José. Costa Rica. UCR. 132 p.

Trumper, E. 2004. Base para el diseño de muestreo de plagas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (En línea). Consultado 26 jul. 2006. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar>

Venette, R; Moon, R; Hutchison, W. 2002. Strategies and statistics of sampling for rare individuals. American Entomologist. 47: 143-174.

Anexo 4. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales en campo para la captura de cicadélidos con trampas pegajosas

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	15	25	35	0,12
21	38	53	67	0,25
32	62	80	98	0,39
43	86	108	129	0,52
54	111	135	159	0,62
65	136	162	189	0,72
76	162	191	218	0,79
87	188	218	247	0,84
98	214	246	275	0,89
109	273	273	273	0,94

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 5. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 5 y 4,12% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	1	2	0,04
20	0	1	3	0,04
30	0	2	4	0,05
40	0	2	5	0,05
50	0	3	5	0,05
60	0	3	6	0,05
70	0	4	7	0,05
80	0	4	8	0,05
90	1	4	8	0,05
100	1	5	9	0,05
110	1	6	10	0,05
120	1	6	11	0,05
130	2	6	11	0,04
140	2	7	12	0,04
150	2	7	13	0,04
160	2	8	13	0,04
170	3	8	14	0,04
180	3	9	15	0,04
190	3	10	15	0,04
200	4	10	16	0,05
210	4	11	17	0,05
220	4	11	17	0,06
230	5	11	18	0,06
240	5	12	19	0,07
250	6	12	19	0,07
260	6	13	20	0,08
270	6	13	21	0,09
280	7	14	21	0,09
290	7	15	22	0,10
300	15	15	15	0,10

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 6. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 5 y 15% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	1	2	0,51
20	0	1	3	0,56
30	0	1	4	0,61
40	0	2	5	0,66
50	0	2	5	0,71
60	0	3	6	0,76
70	0	3	7	0,81
80	1	4	8	0,85
90	1	5	8	0,89
100	1	5	9	0,93
110	1	6	10	0,95
120	1	6	11	0,96
130	2	7	11	0,97
140	2	7	12	0,98
150	2	8	13	0,99
160	2	8	13	0,99
170	3	9	14	0,99
180	3	9	15	1,00
190	3	10	15	1,00
200	4	10	16	1,00
210	4	11	17	1,00
220	5	11	17	1,00
230	5	11	18	1,00
240	5	12	19	1,00
250	6	12	19	1,00
260	6	13	20	1,00
270	7	13	20	1,00
280	7	14	21	1,00
290	8	14	22	1,00
300	15	15	15	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 7. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 4 y 4,12% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	2	0,08
20	0	1	2	0,08
30	0	1	3	0,08
40	0	2	4	0,08
50	0	2	4	0,08
60	0	2	5	0,07
70	0	3	6	0,07
80	0	3	6	0,07
90	0	4	7	0,07
100	0	4	8	0,07
110	1	4	8	0,07
120	1	5	9	0,06
130	1	5	10	0,06
140	1	5	10	0,05
150	1	6	11	0,05
160	1	7	11	0,05
170	2	7	12	0,05
180	2	7	12	0,05
190	2	8	13	0,05
200	2	8	14	0,05
210	3	8	14	0,04
220	3	9	15	0,05
230	3	9	15	0,05
240	4	10	16	0,05
250	4	10	16	0,05
260	4	10	17	0,05
270	5	11	17	0,05
280	5	11	17	0,05
290	5	12	18	0,05
300	12	12	12	0,05

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 8. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 4 y 15% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	2	0,63
20	0	1	3	0,67
30	0	1	3	0,71
40	0	2	4	0,75
50	0	2	5	0,79
60	0	2	5	0,82
70	0	3	6	0,86
80	0	3	7	0,90
90	0	4	7	0,93
100	0	4	8	0,96
110	0	4	8	0,97
120	1	5	9	0,98
130	1	5	10	0,99
140	1	6	10	0,99
150	1	6	11	0,99
160	1	7	11	1,00
170	2	7	12	1,00
180	2	7	12	1,00
190	2	8	13	1,00
200	2	8	14	1,00
210	3	9	14	1,00
220	3	9	15	1,00
230	3	9	15	1,00
240	3	10	16	1,00
250	4	10	16	1,00
260	4	10	17	1,00
270	5	11	17	1,00
280	5	11	18	1,00
290	5	12	18	1,00
300	12	12	12	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 9. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 3 y 4,12% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	2	0,37
20	0	1	2	0,34
30	0	1	3	0,31
40	0	1	3	0,28
50	0	1	4	0,26
60	0	2	4	0,23
70	0	2	5	0,21
80	0	2	5	0,18
90	0	3	6	0,16
100	0	3	6	0,15
110	0	3	7	0,16
120	0	4	7	0,16
130	0	4	8	0,17
140	0	4	8	0,17
150	0	5	9	0,17
160	1	5	9	0,17
170	1	5	9	0,18
180	1	5	10	0,18
190	1	6	10	0,19
200	1	6	11	0,19
210	1	6	11	0,20
220	1	6	12	0,20
230	2	7	12	0,21
240	2	7	12	0,21
250	2	8	13	0,22
260	2	8	13	0,23
270	3	8	14	0,23
280	3	9	14	0,24
290	3	9	14	0,25
300	9	9	9	0,25

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 10. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 3 y 15% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	1	0,68
20	0	1	2	0,72
30	0	1	3	0,76
40	0	1	3	0,79
50	0	2	4	0,83
60	0	2	4	0,86
70	0	2	5	0,90
80	0	2	5	0,93
90	0	3	6	0,96
100	0	3	6	0,98
110	0	3	7	0,99
120	0	4	7	1,00
130	0	4	8	1,00
140	0	4	8	1,00
150	1	5	9	1,00
160	1	5	9	1,00
170	1	5	10	1,00
180	1	5	10	1,00
190	1	6	10	1,00
200	1	6	11	1,00
210	1	6	11	1,00
220	2	7	12	1,00
230	2	7	12	1,00
240	2	7	12	1,00
250	2	8	13	1,00
260	2	8	13	1,00
270	3	8	13	1,00
280	3	8	14	1,00
290	3	9	14	1,00
300	9	9	9	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 11. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 2 y 4,12% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	1	0,53
20	0	0	2	0,50
30	0	1	2	0,48
40	0	1	2	0,45
50	0	1	3	0,43
60	0	1	3	0,41
70	0	1	4	0,39
80	0	2	4	0,37
90	0	2	4	0,35
100	0	2	5	0,34
110	0	2	5	0,35
120	0	2	5	0,36
130	0	3	6	0,38
140	0	3	6	0,40
150	0	3	6	0,42
160	0	3	7	0,44
170	0	3	7	0,46
180	0	4	7	0,48
190	0	4	8	0,50
200	0	4	8	0,52
210	0	4	8	0,54
220	0	4	8	0,56
230	0	5	9	0,58
240	1	5	9	0,60
250	1	5	9	0,62
260	1	5	9	0,64
270	1	5	10	0,66
280	1	5	10	0,68
290	1	6	10	0,70
300	6	6	6	0,71

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 12. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 2 y 15% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	1	0,82
20	0	0	2	0,85
30	0	1	2	0,87
40	0	1	2	0,89
50	0	1	3	0,91
60	0	1	3	0,93
70	0	1	4	0,95
80	0	2	4	0,96
90	0	2	4	0,98
100	0	2	5	0,99
110	0	2	5	1,00
120	0	2	5	1,00
130	0	3	6	1,00
140	0	3	6	1,00
150	0	3	6	1,00
160	0	3	7	1,00
170	0	3	7	1,00
180	0	4	7	1,00
190	0	4	8	1,00
200	0	4	8	1,00
210	0	4	8	1,00
220	0	4	8	1,00
230	0	4	9	1,00
240	1	5	9	1,00
250	1	5	9	1,00
260	1	5	9	1,00
270	1	5	10	1,00
280	1	6	10	1,00
290	1	6	10	1,00
300	6	6	6	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 13. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 1 y 4,12% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	1	0,34
20	0	0	1	0,38
30	0	0	1	0,43
40	0	0	2	0,47
50	0	0	2	0,51
60	0	1	2	0,55
70	0	1	2	0,59
80	0	1	2	0,63
90	0	1	3	0,68
100	0	1	3	0,71
110	0	1	3	0,74
120	0	1	3	0,76
130	0	1	3	0,78
140	0	1	4	0,81
150	0	1	4	0,83
160	0	2	4	0,84
170	0	2	4	0,86
180	0	2	4	0,88
190	0	2	5	0,89
200	0	2	5	0,90
210	0	2	5	0,91
220	0	2	5	0,92
230	0	2	5	0,93
240	0	2	5	0,94
250	0	2	5	0,94
260	0	3	6	0,95
270	0	3	6	0,96
280	0	3	6	0,96
290	0	3	6	0,97
300	3	3	3	0,98

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 14. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica y media poblacional de conteos de 1 y 15% respectivamente

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	1	0,89
20	0	0	1	0,91
30	0	0	1	0,92
40	0	0	2	0,93
50	0	0	2	0,94
60	0	1	2	0,96
70	0	1	2	0,97
80	0	1	2	0,98
90	0	1	3	0,99
100	0	1	3	1,00
110	0	1	3	1,00
120	0	1	3	1,00
130	0	1	4	1,00
140	0	1	4	1,00
150	0	2	4	1,00
160	0	2	4	1,00
170	0	2	4	1,00
180	0	2	4	1,00
190	0	2	5	1,00
200	0	2	5	1,00
210	0	2	5	1,00
220	0	2	5	1,00
230	0	2	5	1,00
240	0	2	5	1,00
250	0	2	6	1,00
260	0	3	6	1,00
270	0	3	6	1,00
280	0	3	6	1,00
290	0	3	6	1,00
300	3	3	3	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 15. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica 0,001 y media poblacional de conteos (A) 0,0412 y (B) 0,15

(A)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	0	0,88
15	0	0	0	0,86
20	0	0	0	0,85
25	0	0	0	0,84
30	0	0	0	0,83
35	0	0	0	0,83
40	0	0	0	0,85
45	0	0	0	0,88
50	0	0	0	0,90
55	0	0	0	0,92
60	0	0	1	0,94
65	0	0	1	0,96
70	0	0	1	0,97
75	0	0	1	0,98
80	0	0	1	0,98
85	0	0	1	0,99
90	0	0	1	0,99
95	0	0	1	0,99
100	0	0	0	1,00

(B)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	0	0,98
15	0	0	0	0,99
20	0	0	0	0,99
25	0	0	0	0,99
30	0	0	0	0,99
35	0	0	0	0,99
40	0	0	0	0,99
45	0	0	0	0,99
50	0	0	0	1,00
95	0	0	1	1,00
100	0	0	0	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

Anexo 16. Conteos críticos y potencia para distintos tamaños muestrales con densidad crítica 0,0001 y media poblacional de conteos (A) 0,0412 y (B) 0,15

(A)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	0	0,48
15	0	0	0	0,55
20	0	0	0	0,61
25	0	0	0	0,67
30	0	0	0	0,73
35	0	0	0	0,79
40	0	0	0	0,83
45	0	0	0	0,87
50	0	0	0	0,89
55	0	0	0	0,92
60	0	0	0	0,93
65	0	0	0	0,95
70	0	0	0	0,96
75	0	0	0	0,97
80	0	0	0	0,98
85	0	0	0	0,98
90	0	0	0	0,99
95	0	0	0	1,00
100	0	0	0	1,00

(B)

<i>n</i>	<i>LI</i>	<i>M</i>	<i>LS</i>	<i>Pot</i>
10	0	0	0	0,85
15	0	0	0	0,88
20	0	0	0	0,91
25	0	0	0	0,94
30	0	0	0	0,96
35	0	0	0	0,98
40	0	0	0	0,99
45	0	0	0	1,00
50	0	0	0	1,00
95	0	0	0	1,00
100	0	0	0	1,00

n: Tamaño de muestra

LI: Límite inferior de la media

M: Media

LS: Límite superior de la media

Pot: Potencia

7 CONCLUSIONES GENERALES

1. Las trampas pegajosas elaboradas con acetatos de color amarillo intenso en esmalte resultaron ser tan eficientes como las trampas comerciales para la captura de insectos plaga cicadélidos. Estas trampas resultaron ser de fácil elaboración y de bajo costo económico para los productores.
2. Las trampas pegajosas de color amarillo intenso en esmalte capturaron mayor diversidad de géneros de cicadélidos con respecto a las trampas comerciales. Esto permite una mejor captura de más géneros de cicadélidos, principalmente géneros de cicadélidos considerados como claves por la postura de masas de huevos en los tips de *D. marginata*. Casos específicos *Oncometopia* sp. *Caldwelliola* sp. y *Empoasca* sp.
3. Se encontró que existe relación entre varios géneros de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas y el tono o color de la trampa pegajosa. Caso específico el género *Oncometopia* sp. y el tono amarillo intenso, y el género *Empoasca* sp. con el tono ofrecido por las trampas comerciales.
4. Además, se logró determinar que existe mayor diversidad de géneros de cicadélidos capturados en alturas menores a los 50 cm en los lotes de producción de *D. marginata*, independientemente de la orientación de la trampa pegajosa, con respecto a las trampas pegajosas colocadas a mayores alturas del suelo (120 cm). Esto porque la estructura vertical de los lotes de producción es mayor en menores alturas.
5. Por otro lado, la mayor diversidad de géneros de cicadélidos fue encontrada en la posición de la trampa pegajosa con posición de modo paralelo a las hileras de producción del cultivo de *D. marginata*, y esto es independientemente a la altura en que se encuentre la trampa pegajosa.
6. Con el trabajo en campo realizado en lotes de producción y empacadora no se encontró relación entre la abundancia de las poblaciones plaga escamas, moluscos y tetigónidos (masas de huevos), con la abundancia de estas en la zonas de embalaje.

7. Por otro lado, se encontró tendencias que permiten evidenciar la disminución del número de *tips* infestados con estas plagas en campo, con respecto al número de *tips* infestados que llegan al proceso de empaque. El no encontrar un resultado significativo pudo estar afectado por el proceso de preparación de los *tips*, previo al embalaje de esta planta ornamental.
8. En el caso de la población plaga cicadélidos, se encontró que la abundancia de esta población está relacionada en las dos etapas de la cadena de exportación de estudio (lote y empacadora). A mayor cantidad de cicadélidos adultos capturados en las trampas pegajosas habrá presencia de *tips* infestados con masas de huevos que pertenecen a géneros y especies de esta familia (Ej. *Oncometopia clarior*, *Caldwelliola reservata*, *Empoasca* sp. y *DioSTEMMA* sp.)
9. Los instrumentos de densidad relativa utilizados para la evaluación de plagas en lotes de producción (trampas pegajosas y cuadrícula de muestreo de 10 x 10 m) están asociados en la captura y observación de poblaciones plaga para las producciones de *D. marginata*. Así, el emplear estos instrumentos conjuntamente permitirá obtener medidas confiables en el estudio de las poblaciones plaga y medidas de control a utilizar por los productores y/o exportadores en el control de poblaciones plaga.
10. A pesar de que el comportamiento las poblaciones plaga varían dentro y fuera de las zonas de estudio, se encontró una distribución espacial de modo agregada (ajuste a la distribución Binomial Negativa) para el caso de escamas, moluscos, ninfas de cicadélidos y masas de huevos de tetigónidos en los lotes de *D. marginata* y el muestreo sistemático con una grilla de 10 × 10 m es útil para detectar estos patrones de agregación en el campo.
11. Para el control de las poblaciones de los insectos plaga cicadélidos, se desarrolló un plan de muestreo secuencial para el uso de las trampas pegajosas estableciendo como densidad crítica (*dc*) el promedio de cicadélidos capturados (promedio de 2,5 cicadélidos en 8 trampas pegajosas) distribuidas de modo al azar, con distancias equidistantes, con posición de modo paralelo al sistema de producción y sobre dos alturas (50 y 120 cm sobre el suelo).

12. También se logró establecer planes de muestreo secuencial para la evaluación de las plagas escamas, moluscos, cicadélidos y tetigónidos en los campos de producción con la utilización de la cuadrícula de muestreo de 10 x 10 m. Estos planes de muestreo fueron desarrollados con los datos de los muestreos mensuales del CSP en nueve lotes por zona de estudio, donde la dc fue el promedio de abundancia de cada plaga disminuido en su respectivo valor del 20%. Esto para el caso de escamas, moluscos y tetigónidos; para el caso de cicadélidos la dc fue el promedio de abundancia de sus masas de huevos disminuido en su respectivo 70%.
13. Se elaboraron distintos planes de muestreo secuencial para distintos valores de los parámetros poblacionales en cada tipo de muestreo dentro de la empacadora. De estos planes de muestreo secuencial se recomienda el uso cuyo valor de dc sea menor y con el estimador de la media poblacional de las plagas con cálculos de potencia más altos.
14. Finalmente, en la estrategia de muestreo en campo no se debe de realizar las evaluaciones de poblaciones plaga en tiempo de lluvia o cuando el material de producción de *D. marginata* se encuentra mojado en la empacadora. Esto dificulta la buena observación de la mayoría de masas de huevos de cicadélidos y tetigónidos por su similitud con las gotas de agua.

8 APÉNDICE 1: Recomendaciones dirigidas a productores, inspectores, exportadores y técnicos en el campo de producción de *Dracaena marginata*

8.1 Productores

1. Se debe de utilizar las trampas pegajosas láminas de acetatos con tonalidad amarillo intenso con posición paralela a las hileras de producción y en las dos alturas para el monitoreo y control de los insectos plaga, cicadélidos. Estas presentan facilidad de elaboración y menores costos que las ofrecidas por el mercado.
2. La comercialización de los *tips* de *D. marginata* es bajo el concepto de planta ornamental y su venta depende de la buena presentación y cero infección por parte de plagas cuarentenarias. El uso de los dos instrumentos para el monitoreo de plagas (grilla de 10 x10 m y las trampas pegajosas) permitirá a los productores y exportadores vigilar los números de unidades (*tips*) con plaga en los lotes de producción previo a su poscosecha y establecer medidas de control de las poblaciones plaga en estas producciones.
3. Una medida de control que emplean los productos de *D. marginata* es el uso de insecticidas; pero estas aplicaciones las realizan sin haber establecido un umbral económico (punto en que las pérdidas y ganancias de una medida control son iguales). Lo que puede generar un gasto innecesario cuando las poblaciones de la plaga son muy bajas presentando poca sostenibilidad económica para muchos productores pequeños. Con el uso de estos instrumentos para el monitoreo de plagas los productores podrán realizar estas aplicaciones de modo correcto y de forma sostenible estableciendo umbrales. Un umbral que se puede establecer es el valor del promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas ya que este valor esta asociado con la ausencia y presencia de *tips* infestados con masas de huevos de estos insectos en la zona de embalaje.

8.2 Inspectores

1. Se debe de utilizar los planes de muestreo secuencial provistos para el control de plagas cuarentenarias en campo y zonas de embalaje para la exportación de *tips* de *D. marginata* al mercado de Estados Unidos u otro destino de exportación. Estos planes de muestreo para el control de calidad están elaborados bajo la verdadera distribución espacial, en campo, de las principales plagas causantes del número de intercepciones realizadas en los puertos de los Estados Unidos (cicadélidos, tetigónidos, escamas y moluscos). Además estos planes de muestreo secuencial son una herramienta poco compleja que actúa en la evaluación del menor número de unidades para una rápida toma de decisiones.
2. Los planes de muestreo secuencial que se deben de aplicar son los que poseen la menor densidad crítica y la estimación de la media poblacional que genera el mayor cálculo de potencia en la estimación de parámetros poblacionales.

8.3 Exportadores

1. La comercialización de los *tips* de *D. marginata* es bajo el concepto de planta ornamental y su venta depende de la buena presentación y cero infección por parte de plagas cuarentenarias. El uso de los dos instrumentos para el monitoreo de plagas (grilla de 10 x10 m y las trampas pegajosas) permitirá a los productores y exportadores vigilar los números de unidades (*tips*) con plaga en los lotes de producción previo a su poscosecha y establecer medidas de control de las poblaciones plaga en estas producciones.
2. Una medida de control que emplean los productos de *D. marginata* es el uso de insecticidas; pero estas aplicaciones las realizan sin haber establecido un umbral económico (punto en que las pérdidas y ganancias de una medida control son iguales). Lo que puede generar un gasto innecesario cuando las poblaciones de la plaga son muy bajas presentando poca sostenibilidad económica para muchos productores pequeños. Con el uso de estos instrumentos para el monitoreo de plagas los productores podrán realizar estas aplicaciones de modo correcto y de forma sostenible estableciendo umbrales. Un umbral que se puede establecer es el valor del promedio de cicadélidos capturados en las trampas

pegajosas ya que este valor esta asociado con la ausencia y presencia de *tips* infestados con masas de huevos de estos insectos en la zona de embalaje.

3. Se debe de utilizar los planes de muestreo secuencial provistos para el control de plagas cuarentenarias en campo y zonas de embalaje para la exportación de *tips* de *D. marginata* al mercado de Estados Unidos u otro destino de exportación. Estos planes de muestreo para el control de calidad están elaborados bajo la verdadera distribución espacial, en campo, de las principales plagas causantes del número de intercepciones realizadas en los puertos de los Estados Unidos (cicadélidos, tetigónidos, escamas y moluscos). Además estos planes de muestreo secuencial son una herramienta poco compleja que actúa en la evaluación del menor número de unidades para una rápida toma de decisiones.
4. Los planes de muestreo secuencial que se deben de aplicar son los que poseen la menor densidad crítica y la estimación de la media poblacional que genera el mayor cálculo de potencia en la estimación de parámetros poblacionales.

8.4 Técnicos

1. Se debe de utilizar las trampas pegajosas láminas de acetatos con tonalidad amarillo intenso con posición paralela a las hileras de producción y en las dos alturas para el monitoreo y control de los insectos plaga, cicadélidos. Estas presentan facilidad de elaboración y menores costos que las ofrecidas por el mercado.
2. Se podría mejorar la eficiencia de las trampas pegajosas con la combinación de un factor olfativo (olor de la planta hospedera). Esta combinación debe ser considerada para futuras investigaciones por desconocer el comportamiento de estos insectos a estimulantes olfativos.
3. Estudiar el efecto de las trampas pegajosas con color amarillo o amarillo intenso sobre las poblaciones de parasitoides de masas de huevos de cicadélidos en los lotes de producción de *D. marginata*.
4. Utilizar el programa *SeqSam* en la elaboración de las curvas de decisión para el control de plagas en los *tips* de *D. marginata* por actuar sobre la verdadera distribución de los datos

de las poblaciones de estudio (escamas, moluscos, masas de huevos de tetigónidos y/o cicadélidos). Este programa permite realizar las curvas de decisión con gran facilidad en manejo y en presentación de resultados. Además no requiere de un número de muestras excesivo como otros programas estadísticos con la misma finalidad.

5. Una medida de control que emplean los productos de *D. marginata* es el uso de insecticidas; pero estas aplicaciones las realizan sin haber establecido un umbral económico (punto en que las pérdidas y ganancias de una medida control son iguales). Lo que puede generar un gasto innecesario cuando las poblaciones de la plaga son muy bajas presentando poca sostenibilidad económica para muchos productores pequeños. Con el uso de estos instrumentos para el monitoreo de plagas los productores podrán realizar estas aplicaciones de modo correcto y de forma sostenible estableciendo umbrales. Un umbral que se puede establecer es el valor del promedio de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas ya que este valor está asociado con la ausencia y presencia de *tips* infestados con masas de huevos de estos insectos en la zona de embalaje.
6. Los planes de muestreo secuencial que se deben de aplicar son los que poseen la menor densidad crítica y la estimación de la media poblacional que genera el mayor cálculo de potencia en la estimación de parámetros poblacionales.
7. Determinar los períodos de mayor aumento de poblaciones plaga (picos poblacionales) en las producciones de *D. marginata*, ya que esto les permitirá conocer a productores, exportadores e inspectores las cosechas con mayores infecciones de plagas y mejorar el trabajo de la evaluación de plagas en los envíos de exportación para reducir el riesgo de una futura intercepción.

9 APÉNDICE 2: Muestro secuencial para la evaluación de poblaciones plaga en producciones de *Dracaena marginata*

Los métodos de evaluación e inspección de poblaciones plaga en los lotes de producción de *Dracaena marginata*, para la exportación de *tips* de buena calidad (limpios de plaga), se asientan en herramientas de muestreo. El muestreo es la selección de un conjunto de unidades, elementos o individuos menor a la población de estudio de la que se obtendrá información para la toma de decisiones.

La herramienta de muestreo en los lotes de producción de *Dracaena marginata* consiste en una cuadrícula de 10 x 10 metros. Con esta cuadrícula se obtienen puntos de muestreo o puntos de observación para evaluar las poblaciones plaga de escamas, moluscos y masas de huevos de tetigónidos y cicadélidos en el follaje de los *tips* de esta planta ornamental. Estos punto de observación se obtienen cuando las cuerdas se cruzan formando cuadros de 10 m² (Figura 29). En estos puntos observación se inspeccionaron nueve *tips*, tres en cada uno de los estratos de las plantas. Los estratos son bajo, medio y alto. La selección de estos nueve *tips* en los puntos de observación se obtiene de forma al azar, lo que quiere decir que se pueden escoger cualesquiera sin seleccionar sólo los *tips* con de mejor o peor follaje.

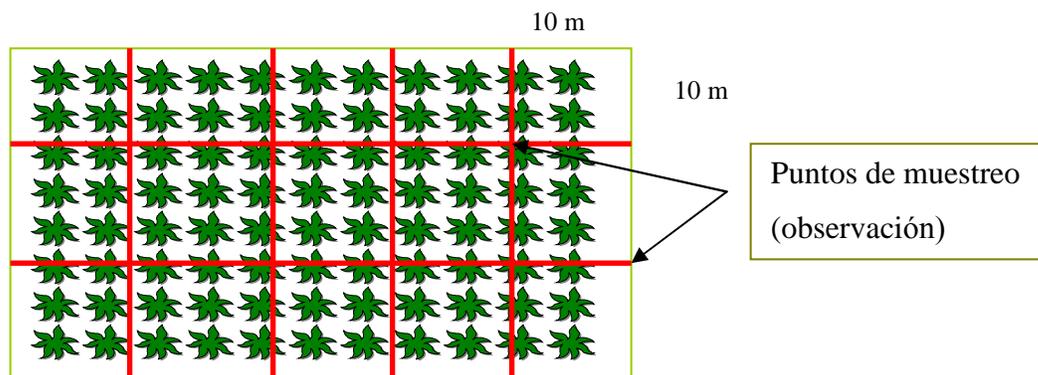


Figura 29. Cuadrícula de 10 x 10 m en lote de producción de *Dracaena marginata* para obtener puntos de observación de poblaciones plaga.

9.1 Campo de producción

9.1.1 Población plaga escamas

La cuadrícula de 10 x 10 metros permite generar los puntos de muestreo en los lotes de producción de *Dracaena marginata*. Estos puntos de muestreo se utilizarán para observar la presencia de escamas en el follaje de los nueve *tips* por cada punto o lugar de observación.

Con lo anterior el plan de muestreo secuencial permite establecer si la cantidad de *tips* infestados en los lotes de producción sobrepasa un valor crítico (LS) o si más bien se encuentra por debajo de este valor crítico (LI).

Por ejemplo si en 10 puntos de muestreo (90 *tips* evaluados) se encuentran menos de 19 *tips* (LI) con presencia de población plaga, estamos en la zona por debajo del valor crítico (Cuadro 20). Esto quiere decir que la población plaga de escamas en el campo no amerita un control para su reducción en los campos de producción. Por el contrario, si entre los 90 *tips* evaluados se encuentran más de 63 *tips* (LS) infestados por escamas quiere decir que el lote de producción sí amerita una acción de control sobre esta plaga.

Sin embargo, si la cantidad de *tips* infestados por escamas se encuentra entre estos dos valores (19 - 63) se debe de aumentar la muestra, o sea se debe de aumentar los puntos de observación con la grilla de 10 x 10 m y continuar con un conteo acumulado para establecer en que zona se encuentra la población plaga de escamas en el lote de producción. Si es por debajo (LI) o por encima (LS) de los valores claves o si debe de seguir aumentando los puntos de observación.

Cuadro 20. Conteos críticos para evaluación de escamas en tips de Dracaena marginata para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo)

Puntos de muestreo	Por debajo de LI	LI	Zona de incertidumbre	LS	Por encima de LS
10	X	19	X	63	X
15		35		86	
20		50		108	
25		66		130	
30		82		152	
35		98		174	
40		115		197	
45		131		219	
50		148		241	
55		165		263	
60		182		285	
65		200		307	
70		217		328	
75		235		350	
80		253		372	
85		271		394	
90		289		416	
95		308		437	
100		387		387	

9.1.2 Población plaga tetigónidos (masas de huevos)

Los puntos de observación de la cuadrícula de 10 x 10 metros utilizados en la evaluación de escamas permitirá conocer las zonas de decisión de los planes de muestreo secuencial de las demás plagas (masas de huevos de tetigónidos, moluscos y masas de huevos de cicadélidos) en los lotes de producción de *Dracaena marginata*.

Así se podrá controlar la población de tetigónidos de acuerdo al plan de muestreo secuencial de esta plaga. Por ejemplo si en 10 puntos de muestreo (90 tips evaluados) no se encuentra una masa de huevos de tetigónidos (LI) se puede decir que estamos en la zona por debajo del valor crítico (Cuadro 21). Esto quiere decir que la población plaga, masas de

huevos de tetigónidos, en el campo no amerita un control para su reducción en los campos de producción. Por el contrario, si se encuentran más de ocho masas de huevos de tetigónidos (LS) en los 90 *tips*, quiere decir que el lote de producción sí amerita una acción de control sobre esta plaga.

Por otro lado, si la cantidad de masas de huevos de tetigónidos se encuentra entre un y ocho se debe de aumentar la muestra, o sea se debe de aumentar los puntos de observación con la grilla de 10 x 10 m y continuar con un conteo acumulado de las masas de huevos para establecer en que zona se encuentra la población plaga de tetigónidos (masas de huevos) en el lote de producción. Si es por debajo (LI) o por encima (LS) de los valores claves o si debe de seguir aumentando los puntos de observación.

Cuadro 21. Conteos críticos para evaluación de masas de huevos de tetigónidos en tips de Dracaena marginata para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo)

Puntos de muestreo	Por debajo de LI	LI	Zona de incertidumbre	LS	Por encima de LS
10	X	0	X	8	X
15		1		11	
20		2		13	
25		3		16	
30		4		18	
35		5		20	
40		6		23	
45		8		25	
50		9		27	
55		10		30	
60		12		32	
65		13		34	
70		14		36	
75		16		39	
80		17		41	
85		19		43	
90		21		45	
95		22		47	
100		36		36	

9.1.3 Población plaga moluscos

El muestreo secuencial para evaluar la población plaga moluscos, actúa sobre los mismos puntos de observación obtenidos con la cuadrícula de 10 x 10 m. De este modo, si en 10 puntos de muestreo (90 *tips* evaluados) no se encuentra un molusco (LI) se puede decir que esta población plaga está en la zona por debajo del valor crítico (Cuadro 22). Esto quiere decir que la población plaga, moluscos, en el campo no amerita un control para su reducción en los campos de producción. Por el contrario, si se encuentran más de nueve moluscos (LS) en los 90 *tips*, quiere decir que el lote de producción sí amerita una acción de control sobre esta plaga.

Por otro lado, si la cantidad de moluscos se encuentra entre uno y nueve se debe de aumentar la muestra, o sea se debe de aumentar los puntos de observación con la grilla de 10 x 10 m y continuar con un conteo acumulado de la cantidad de moluscos para establecer en que zona se encuentra la población plaga en el lote de producción. Si es por debajo (LI) o por encima (LS) de los valores claves o si debe de seguir aumentando los puntos de observación.

Cuadro 22. Conteos críticos para evaluación de moluscos en tips de Dracaena marginata para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo)

Puntos de muestreo	Por debajo de LI	LI	Zona de incertidumbre	LS	Por encima de LS
10	X	0	X	9	X
15		1		11	
20		2		14	
25		3		16	
30		4		19	
35		6		21	
40		7		23	
45		8		26	
50		10		28	
55		11		31	
60		13		33	
65		14		36	
70		16		38	
75		17		41	
80		19		43	
85		21		45	
90		23		48	
95		24		50	
100		38		38	

9.1.4 Población plaga cicadélidos

Con respecto a la población plaga cicadélidos se elaboró dos planes de muestreo secuencial uno dirigido a la evaluación de masas de huevos de estos insectos en el follaje de los *tips* de *D. marginata*, y otro dirigido a la captura de cicadélidos con el uso de trampas pegajosas.

9.1.4.1 Masas de huevos

De acuerdo al primer plan de muestreo secuencial para esta población plaga, si en 10 puntos de muestreo (90 *tips* evaluados) se encuentran menos de 17 masas de huevos de cicadélidos (LI) se puede decir que esta población plaga está en la zona por debajo del valor

crítico (Cuadro 23). Esto quiere decir que la población plaga en el campo no amerita un control para la reducción de esta plaga en los campos de producción. Por el contrario, si el conteo de las masas de huevos se encuentra por encima de 38 masas de huevos (LS) en los 90 *tips*, quiere decir que el lote de producción sí amerita una acción de control sobre esta plaga.

Por otro lado, si la cantidad de masas de huevos de cicadélidos se encuentra entre estos dos valores (17 - 38) se debe de aumentar la muestra, o sea se debe de aumentar los puntos de observación con la grilla de 10 x 10 m y continuar con un conteo acumulado de la cantidad de moluscos para establecer en que zona se encuentra la población plaga en el lote de producción. Si es por debajo (LI) o por encima (LS) de los valores claves o si debe de seguir aumentando los puntos de observación.

Cuadro 23. Conteos críticos para evaluación de masas de huevos de cicadélidos en tips de Dracaena marginata para distintos tamaños de muestra (puntos de muestreo)

Puntos de muestreo	Por debajo de LI	LI	Zona de incertidumbre	LS	Por encima de LS
10	X	17	X	38	X
15		29		53	
20		41		69	
25		53		84	
30		65		100	
35		78		115	
40		90		130	
45		102		145	
50		115		160	
55		127		175	
60		140		189	
65		152		204	
70		165		219	
75		178		233	
80		191		247	
85		204		262	
90		217		276	
95		230		290	
100		274		274	

9.1.4.2 Captura de cicadélidos con trampas pegajosas

9.1.4.2.1 La elaboración de las trampas

La elaboración de las trampas pegajosas para la captura de cicadélidos en los lotes de producción de *Dracaena marginata* se lleva a cabo con láminas transparentes conocidas como acetatos o filminas que serán coloreadas con pintura amarillo intenso en esmalte. Estas láminas se recortan a una distancia de 15,5 x 12,5 cm se perforan en los dos extremos para incrustar un palo (pincho para carne) para lograr firmeza en la trampa. Este pincho irá enlazado a una estaca de madera a dos alturas (50 y 120 cm) (Figura 30).

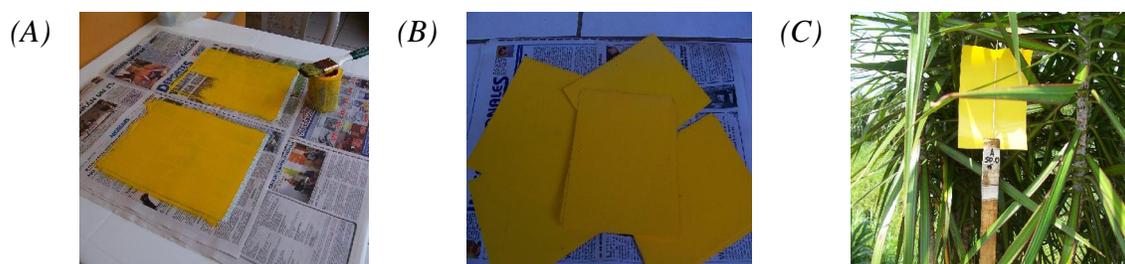


Figura 30. Elaboración de trampas pegajosas (A) láminas pintadas, (B) láminas recortadas y (C) lámina colocada en campo de producción.

Para lograr la captura de cicadélidos en las láminas de color amarillo, estas deben de estar cubiertas con una sustancia pegajosa que se obtiene de modo comercial o simplemente se puede utilizar aceites, grasas, goma transparente y otros productos (Figura 31).

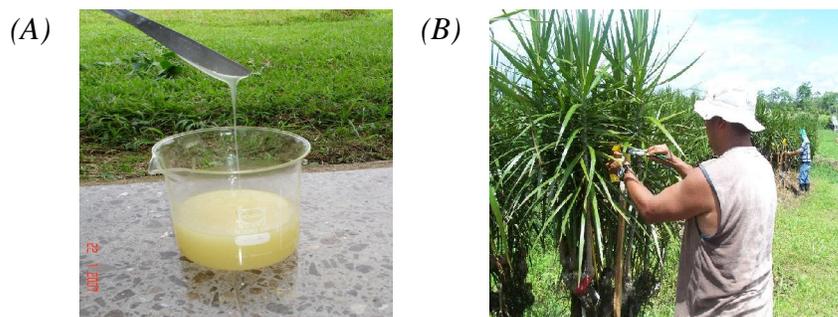


Figura 31. Elaboración de trampas pegajosas (A) sustancia pegajosa, (B) lámina cubierta con sustancia pegajosa.

Con lo anterior, en cada lote se deben de colocar un mínimo de ocho de estas trampas pegajosas (cuatro en cada altura), colocadas en los lotes de producción de modo al azar

(distancias iguales), por ejemplo tres en los extremos del lote y dos en la parte central del mismo lote (Figura 32). Se puede colocar la primera trampa a una altura de 50 cm y cambiar en la segunda a una trampa con altura de 120 cm y así sucesivamente. Dejando que las láminas capturen los cicadélidos por un tiempo de 24 horas y retirándolas con bolsas plásticas transparentes para realizar el conteo general de cicadélidos. Este conteo se comparará con los valores críticos del plan de muestreo secuencial.

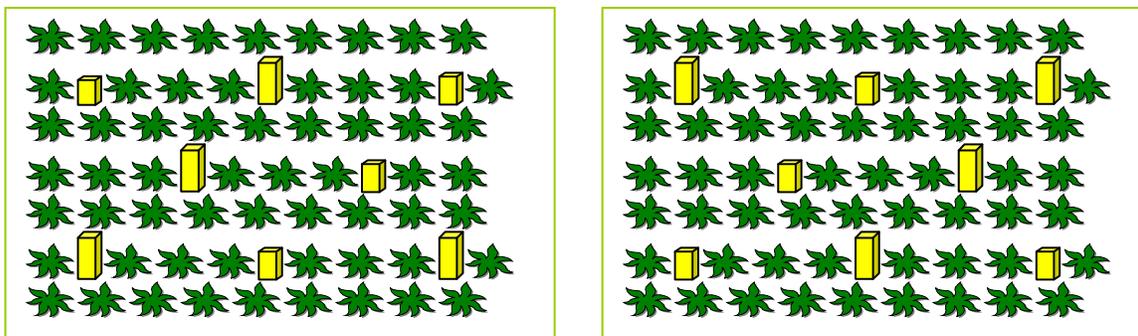


Figura 32. Ejemplo de colocación de trampas pegajosas en lotes de producción de *Dracaena marginata*.

9.1.4.2.2 Plan de muestreo secuencial

Con respecto al plan de muestreo secuencial de cicadélidos capturados en las trampas pegajosas, si el conteo general de cicadélidos en un mínimo de ocho trampas es menor a 12 cicadélidos (LI) se puede decir que esta población plaga está en la zona por debajo del valor crítico (Cuadro 24). Esto quiere decir que la población plaga cicadélidos en el campo no amerita un control para su reducción en los campos de producción. Por el contrario, si el conteo de las masas de huevos se encuentra por encima de 28 cicadélidos (LS) en las ocho trampas, quiere decir que el lote de producción sí amerita una acción de control sobre esta plaga.

Por otro lado, si la cantidad de cicadélidos capturados se encuentra entre estos dos valores (12 – 28) se debe de aumentar la muestra, o sea se debe de aumentar la cantidad de trampas pegajosas evaluar por otras 24 horas y continuar con un conteo acumulado de la cantidad de cicadélidos en todas las trampas para establecer en que zona se encuentra la

población plaga en el lote de producción. Si es por debajo (LI) o por encima (LS) de los valores claves o si debe de seguir aumentando los puntos de observación.

Cuadro 24. Conteos críticos para la captura de cicadélidos con trampas pegajosas en distintos tamaños de muestra (número de trampas)

Número de trampas	Por debajo	Zona de		Por encima
	de LI	LI	incertidumbre	de LS
8	X	12	X	28
10		15		35
15		23		53
20		30		70
25		45		80
30		54		96
35		68		107
40		78		123
45		90		135
50		100		150
55		113		162
60		123		177
65		136		189
70		146		204
75		157		218
80		171		229
85		181		244
90		194		256
95		205		270
100		216		284

9.2 Zona de embalaje

9.2.1 *Por número de tips de Dracaena marginata por cada productor y presentación*

En este caso se selecciona un conjunto de *tips* de *Dracaena marginata* para la inspección (una muestra). Esta muestra corresponde aproximadamente al 10% del total de *tips*

a exportar entregadas por cada presentación. Ejemplo si un productor envía 200 *tips* de *Dracaena marginata* verde, de 12 pulgadas y con raíz (una presentación), se seleccionará una muestra de 20 *tips* (10% de 200) para inspeccionar por esta presentación. Las presentaciones se obtienen por las combinaciones de productor, variedad, tamaños, sí posee o no follaje (solo es caña) y sí el producto tiene o no raíz.

La selección de este material en empacadora se puede realizar de modo al azar o sea escoger 20 *tips* seleccionando cualquier *tip* sin alguna escogencia en particular. O bien se puede seleccionar pequeños grupos de *tips* al principio, en medio y al final del *dipping* o limpiado del material de exportación en empacadora de los 200 *tips* de esta presentación.

El material seleccionado (ejemplo 20 *tips*) será inspeccionado. Esto quiere decir revisar si el follaje del *tip* lleva escamas, moluscos y/o masas de huevos de tetigónidos y/o cicadélidos de uno por uno observando y registrando los *tips* infestados con estas plagas cuarentenarias (Figura 33). Los *tips* que tengan estas plagas en este proceso de inspección se les conocerá como unidades o *tips* infestadas por plagas cuarentenarias.



Figura 33. Selección de muestra para inspección (A) selección al azar de los *tips*, (B) muestra a inspeccionar, (C) revisión del follaje de los *tips* de la muestra y (D) registro de unidades infestadas por plagas cuarentenarias.

Al final de inspeccionar las 20 unidades (muestra), se cuenta la cantidad de *tips* infestados y si no se encuentra un solo *tip* infestado (LI) se puede decir que la cantidad de *tips* infestados no sobrepasa los estándares críticos (Cuadro 25), por consiguiente el material se puede certificar para una futura exportación ya que se tiene poco chance de que esta presentación inspeccionada sea interceptada por problemas de plagas cuarentenarias. Si por el contrario, en esta muestra de inspección (20 *tips*) se encuentra por lo menos una unidad infestada (LS) por problemas de plagas cuarentenarias, se debe de reacondicionar el material de exportación y volver a inspeccionar. Así se disminuirá la chance de que el material de exportación de esta presentación sea interceptado.

Cuadro 25. Conteos críticos para inspección de unidades de exportación con distintos tamaños de muestra (conjuntos de tips)

Número de tips	Por debajo del LI	LI	Zona de incertidumbre	LS	Por encima de LS
10	X	0		1	X
20		0		1	
30		0		1	
40		0		2	
50		0		2	
60		0		2	
70		0		2	
80		0		2	
90		0		3	
100		0		3	
110		0		3	
120		0		3	
130		0		4	
140		0		4	
150		0		4	
160		0		4	
170		0		4	
180		0		4	
190		0		5	
200		0		5	
210		0		5	
220		0		5	
230		0		5	
240		0		5	
250		0		6	
260		0		6	
270		0		6	
280		0		6	
290		0		6	
300		3		3	

9.2.2 Por número de cajas con tips de *Dracaena marginata* por cada productor y presentación

Otro tipo de muestreo para la inspección de *tips* con follaje de exportación es el empleado por las autoridades de los Estados Unidos. Este sistema varía mucho con respecto al tamaño de la muestra y además con las unidades que conforman esta muestra. En el caso anterior las unidades de inspección y de decisión son los *tips* de exportación seleccionados por presentación; en este caso las unidades de inspección siguen siendo los *tips* pero las unidades de decisión son las cajas con *tips* de exportación. Esto aumenta la chance de obtener una intercepción en el material de exportación.

La selección se realiza tomando un cierto porcentaje de las cajas a exportar (aproximadamente 2%). Esto depende del conjunto de cajas que se tengan de la producción de una presentación (productor, variedad, tamaño, tipo de raíz, etc.). Si por una presentación se tienen 50 cajas se inspeccionará una caja (2%) con *tips* de *Dracaena marginata*; si por otro lado la cantidad de cajas a exportar por presentación es menor 50 siempre se inspeccionará una caja, aunque esto implique inspeccionar más del 2% que establece esta metodología.

Si por ejemplo un exportador va a realizar un envío menor a 50 cajas en una presentación deberá inspeccionar una caja con *tips* de *Dracaena marginata* y en esta caja no encontrar un solo *tip* infestado con la presencia de escamas, moluscos y/o masas de huevos de tetigónidos y/o cicadélidos para tomar la decisión de certificar todo el material de esta presentación o sea todas las cajas con esta presentación y tener poco chance de ser interceptado en los puertos de los Estados Unidos (Cuadro 26); si por el contrario se encuentra al menos un *tip* infestado dentro de esta caja inspeccionada se deberá de reacondicionar todo el material de exportación dentro de las cajas embalsadas.

Cuadro 26. Conteos críticos para inspección de cajas con unidades de exportación con distintos tamaños de muestra (número de cajas)

Número de cajas	Por debajo de LI	LI	Zona de incertidumbre	LS	Por encima de LS
1	X	0		0	X
2		0		0	
10		0		0	
15		0		0	
20		0		0	
25		0		0	
30		0		0	
35		0		0	
40		0		0	
45		0		0	
50		0		0	
55		0		0	
60		0		1	
65		0		1	
70		0		1	
75		0		1	
80		0		1	
85		0		1	
90		0		1	
95		0		1	
100		0		0	