

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL**

**LUTTE CONTRE LA MOUCHE BLANCHE (*BEMISIA TABACI*)  
EN MILIEU TROPICAL**

**THÈSE PRÉSENTÉE  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DU DOCTORAT EN BIOLOGIE**

**PAR :  
CLAUDIO NUNES**

**JUILLET 2006**



Library and  
Archives Canada

Published Heritage  
Branch

395 Wellington Street  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

Bibliothèque et  
Archives Canada

Direction du  
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington  
Ottawa ON K1A 0N4  
Canada

*Your file* *Votre référence*

ISBN: 978-0-494-23624-6

*Our file* *Notre référence*

ISBN: 978-0-494-23624-6

#### NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

#### AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

---

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

*À Camila et Nicolas,*  
*Deux sources d'amour et d'énergie*

## **REMERCIEMENTS**

L'aboutissement de ce travail n'aurait pu avoir lieu sans la collaboration de nombreuses personnes, qui, de près ou de loin, ont su m'apporter de l'aide.

La réalisation de ce travail n'aurait pas eu lieu sans l'approche de mon directeur de recherche Daniel Coderre et de mon co-directeur Éric Lucas. Je les remercie pour la grande confiance qu'ils ont eue en moi et l'aide et la compréhension autant dans nos discussions scientifiques que personnelles.

Je remercie aussi toutes les personnes qui ont participé aux différents comités d'encadrement de ce doctorat, soit Domingos de Oliveira, Yves Mauffette et Charles Vincent; ainsi que mon jury évaluateur : Daniel Coderre, Éric Lucas, Jean-François Giroux, Daniel Cormier et Rosa Gabarra.

Je ne pourrais passer sous silence l'aide précieuse des étudiants de l'Universidad Católica Agrícola del Trópico Seco en Estelí, Nicaragua, David Ernesto Andara, Francisca Mabell Blandon, Exon José Rodríguez, Maynord Fabricio Sosa, David Antonio Aroca, Eric Alexander Hernández, Wilmor Blandón Aráuz, Marlon Alberto Castillo, Marling de Jesus Herrera, Harold Iván Amador, Ivania Lisseth Arcia, Basilio Ramon Herrera, Mayra del Carmen Gutierrez, Nora Fiallos Aguilera, Dulce Maria Rodezno, Indra Pineda Arauz, Mario L. Davila, Holman Mendoza; Wilmor Arauz; Marlon Castillo, Yader Gámez et Rider F. pour leur appui lors des manipulations et des observations expérimentales. Je ne voudrais pas oublier mes collègues du laboratoire de lutte biologique Bruno Fréchette, Louise Voynaud, Nathalie Rouillé, Annabelle Firlej, Franz Vanoosthuyse, Geneviève Labrie, Benoit Guénard, Samuel Pinna, Jennifer de Almeida, Jacinthe Tremblay, Julie Bourgeault,

Martin Valade et Mircea Bejan qui m'ont apporté leur amitié, leurs observations sur mes travaux ainsi que leur convivialité lors des nombreuses discussions scientifiques.

Je remercie aussi Christian Ouellet, Estelle Côté et Vincent Ouellet pour leur amitié et appui lors de mes différents séjours au Québec.

Je voudrais aussi remercier ma mère Gladis Zuffo pour m'avoir transmis son amour et mon père Eduardo Nunes pour les randonnées en nature lors de ma jeunesse.

Enfin à mes deux petits enfants, Camila et Nicolas qui m'indiquent la nouvelle direction à prendre.

## AVANT-PROPOS

Dès les premières épidémies de mouches blanches au Nicaragua, dans les années 80, les populations n'ont pas cessé de se développer, devenant le principal obstacle à plusieurs productions nicaraguayennes. Depuis les années 90, le Nicaragua a fait des efforts pour minimiser l'impact économique de *B. tabaci* sans les résultats attendus.

En 2001, le "Centro de Investigación en Protección Vegetal" (CIPROV) et le laboratoire de lutte biologique de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) avec l'aide financière du projet Canada-Nicaragua Post-Meech, ont entrepris des recherches qui ont abouti à un programme de lutte intégrée contre cet important ravageur.

Cette thèse présente les principaux aspects de la démarche accomplie.

Les quatre chapitres de cette thèse ont été publiés, soumis ou sont en préparation pour différentes revues scientifiques. L'auteur de la thèse fut entièrement responsable de l'élaboration des protocoles expérimentaux, de la réalisation des expériences, de l'analyse des données et de la rédaction de l'ensemble de cette thèse.

Chapitre 1 : Diagnóstico sobre el conocimiento y manejo de *Bemisia tabaci* por los productores del norte nicaragüense. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, Claudio Nunes, Éric Lucas et Daniel Coderre, (2005, sous presse).

Chapitre 2 : Parasitisme de *Bemisia tabaci* (Hom.: Aleyrodidae) en cultures maraîchères en tropique sec nicaraguayan. Claudio Nunes, Éric Lucas et Daniel Coderre, *International Journal of Tropical Insect Science* Vol. 26, No. 1, pp. 57-63, 2006

Chapitre 3 : Roles of trichomes in host use by *Bemisia argentifolii* and the biocontrol agent *Chrysoperla externa*: are they compatible. Claudio Nunes, Éric Lucas et Daniel Coderre (soumis à *Neotropical Entomology*).

Chapitre 4 : Implementation of integrated whitefly management program in tomato crop in Nicaragua. Claudio Nunes, Éric Lucas et Daniel Coderre. En préparation.

Les références citées dans l'introduction générale et la conclusion générale sont présentées dans la bibliographie à la fin de la thèse. Les références des chapitres 1 à 4 sont décrites à la fin du chapitre correspondant.

## TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	v
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xiii
RÉSUMÉ GÉNÉRAL.....	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE	
1. MISE EN CONTEXTE.....	2
2. ÉTAT DES CONNAISSANCES.....	5
2.1. CARACTÉRISATION BIOÉCOLOGIQUE DE <i>BEMISIA TABACI</i> (GENNADIUS, 1899).....	5
2.1.1 La mouche blanche <i>Bemisia tabaci</i> .....	5
2.1.2 Plasticité génétique.....	6
2.1.3 Cycle de vie et apparence.....	6
2.1.4 Distribution.....	9
2.1.5 Plasticité d'adaptation.....	9
2.1.6 Capacité reproductive.....	10
2.1.7 Vol.....	10
2.1.8 Préférences alimentaires.....	11
2.1.9. Dommages.....	12
2.2. LE COMPLEXE DU GENRE <i>BEGOMOVIRUS</i> , FAMILLE <i>GEMINIVIRIDAE</i> TRANSMIS PAR <i>B. TABACI</i> AU PLANT DE TOMATE.....	13
2.2.1. La famille <i>Geminiviridae</i> .....	13
2.2.2. Le genre <i>Begomovirus</i> .....	14
2.2.3. Cycle d'infection et transmission.....	15
3. IMPORTANCE ÉCONOMIQUE.....	16

<b>4. LES METHODES DE LUTTE CONTRE LE COMPLEXE <i>B. TABACI</i>-GEMINIVIRUS.....</b>	<b>17</b>
4.1 Pratiques culturelles et lutte physique.....	17
4.2. Lutte chimique.....	18
4.3 Lutte biologique.....	19
4.4. Lutte génétique (résistance des plantes).....	21
<b>5. LE COMPLEXE GEMINIVIRUS-MOUCHE BLANCHE AU NICARAGUA.....</b>	<b>22</b>
<b>6. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....</b>	<b>23</b>
 CHAPITRE I: DIAGNOSTICO SOBRE EL CONOCIMIENTO Y MANEJO DE <i>BEMISIA TABACI</i> POR LOS PRODUCTORES DEL NORTE NICARAGÜENSE.	
I.1. Résumé.....	25
I.2. Resumen.....	26
I.3. Abstract.....	27
I.4. Introducción.....	28
I.5. Metodología.....	29
I.6. Resultados y discusión.....	30
I.7. Agradecimientos.....	38
I.8. Literatura citada.....	38
 CHAPITRE II : PARASITISME DE <i>BEMISIA TABACI</i> (HOMOPTERA: ALEYRODIDAE) EN CULTURES MARAÎCHÈRES EN TROPIQUE SEC NICARAGUAYEN.	
II.1. Résumé.....	43
II.2. Summary .....	44
II.3. Introduction.....	45
II.4. Méthodologie.....	46

II.5. Résultats et discussion .....	47
II.6. Remerciements .....	55
II.7. Références.....	55
 CHAPITRE III : ROLES OF TRICHOMES IN HOST USE BY <i>BEMISIA ARGENTIFOLII</i> AND THE BIOCONTROL AGENT <i>CHRYSOPERLA EXTERNA</i> : ARE THEY COMPATIBLE?	
III.1. Résumé.....	60
III.2. Summary.....	61
III.3. Introduction.....	62
III.4. Material and Methods.....	64
III.5. Results.....	67
III.6. Discussion.....	73
III.7. Acknowledgments.....	76
III.8. Literature Cited.....	77
 CHAPITRE IV: INTEGRATED WHITEFLY MANAGEMENT PROGRAM IN TOMATO CROP IN NORTHERN NICARAGUA.	
IV.1. Résumé.....	89
IV.2. Summary.....	90
IV.3. Introduction.....	91
IV.4. Material and Methods.....	93
IV.5. Results.....	96
IV.6. Discussion.....	104
IV.7. Acknowledgments.....	106
IV.8. Literature Cited.....	106
 CONCLUSION GÉNÉRALE.....	108
BIBLIOGRAPHIE.....	114

## LISTE DES FIGURES

<b>Figures</b>	<b>Page</b>
<b>Introduction générale</b>	
1. <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) Photo Robin Gunning (30X).....	8
2. <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Westwood) Photo: Robin Gunning (23X).	8
3. Plant de tomate infecté avec le <i>Begomovirus</i> des feuilles jaunes en cuillère de la tomate "Tomato yellow leaf curl virus" (TYLCV), transmis par <i>B. tabaci</i> en Estelí, Nicaragua. Symptômes typiques de distorsion des feuilles, enroulement foliaire, et taches chlorotiques. Photo: Claudio Nunes.....	16
<b>Chapitre I</b>	
1. Métodos de control utilizados contra <i>Bemisia tabaci</i> .....	33
2. Motivo por el cual los agricultores hortícolas aplican insecticida contra <i>Bemisia tabaci</i> .....	34
3. Origen de las recomendaciones sobre el control químico <i>Bemisia tabaci</i> .	35
4. Insecticidas utilizados contra <i>Bemisia tabaci</i> .....	36
<b>Chapitre II</b>	
1. Répartition des différentes espèces de parasitoïdes de <i>Bemicia tabaci</i> présent durant les saisons sèche et pluvieuse en Estelí, Nicaragua. Sur A, courge ( <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber); B, tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill); C, poivron ( <i>Capsicum annuum</i> L.).....	52
2. Taux de parasitisme de <i>Bemicia tabaci</i> durant la saison sèche et pluvieuse, Estelí, Nicaragua : A, courge ( <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber); B, tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill); C, poivron ( <i>Capsicum annuum</i> L.).....	54

### Chapitre III

1. Mean number of eggs oviposited/cm <sup>2</sup> by <i>B. tabaci</i> (mean ± 1 SE) on abaxial leaf surfaces. Host plants Sp, T and Sq denote sweet pepper, tomato and squash plants, respectively. Columns followed by the asterisk are significantly different ( $P < 0.05$ ) in test <i>t</i> .....	68
2. Means (±SE) for one hour observation period by <i>C. externa</i> on squash <i>Cucurbita argyrosperma</i> (Sq) and sweet pepper <i>Capsicum annuum</i> (Sp); (A) time spent searching (mean ± SE); (B) occurrence of encounter (mean ± SE) and (C) whitefly nymph eaten (mean ± SE). Columns followed by the * are significantly different ( $P < 0.05$ ) in test <i>t</i> .....	69
3. A, Relationship between time spent searching and number of encounter by <i>Chrysoperla externa</i> with whiteflies nymphs ( $R^2 = 0.50$ , $P < 0.0001$ ) and B, between encounter of whiteflies nymphs and nymphs eaten ( $R^2 = 0.25$ , $P < 0.0040$ ) on sweet pepper <i>Capsicum annuum</i> .....	71
4. A, Relationship between time spent searching and number of encounter by <i>Chrysoperla externa</i> with whiteflies nymphs ( $R^2 = 0.25$ , $P < 0.0044$ ) and B, between encounter of whiteflies nymphs and nymphs eaten ( $R^2 = 0.21$ , $P < 0.0096$ ) on squash <i>Cucurbita argyrosperma</i> .....	72

### Chapitre IV

1. Relation between the mean of the <i>B. tabaci</i> pupae by leaf and the rainfall (mm), in tomato culture, Estelí, Nicaragua, 2001-2002. ....	97
2. Relation between the mean of the of the <i>B. tabaci</i> pupae by leaf and the number of the <i>Encarsia</i> spp. /32 leaves in tomato culture, Estelí, Nicaragua, 2001-2002.....	98

3. Virus occurrence according to the tomato cultivar and the time of appearance of symptoms. Estelí, Nicaragua, 2003.....	99
4. Number of eggs of <i>B. tabaci</i> an according to the different protection screen types. Estelí, Nicaragua. Asterisk show significant differences ( $P= 0.0005$ ).....	100
5. Virus occurrence an according to the treatments and the time of plants development. Integrated pest management program (IPM), integrated pest management program free-insecticide (IPM-FI) and integrated pest management program with insecticide farmer approach (IPM-FA), Estelí, Nicaragua, 2003.....	102
6. Tomato production. Integrated pest management program (IPM), integrated pest management program free-insecticide (IPM-FI) and integrated pest management program with insecticide farmer approach (IPM-FA), compared with Nicaraguan national average. Estelí, Nicaragua, 2003.....	103

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableaux</b>	<b>Page</b>
<b>Introduction générale</b>	
I. Principales plantes hôtes de <i>B. tabaci</i> cultivées en Amérique latine.....	11
<b>Chapitre II</b>	
I. Niveau d'infestation et parasitisme de <i>B. tabaci</i> (larves à la fin des 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> stade « pupes ») en culture de courge ( <i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber), en zone tropical sèche nicaraguayenne, 2001-2002.....	48
II. Niveau d'infestation et parasitisme de <i>B. tabaci</i> (larves à la fin des 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> stade « pupes ») en culture de tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill), en zone tropical sèche nicaraguayenne, 2001-2002.....	49
III. Niveau d'infestation et parasitisme de <i>B. tabaci</i> (larves à la fin des 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> stade « pupes ») en culture de poivrons ( <i>Capsicum annuum L.</i> ), en zone tropical sèche nicaraguayenne, 2001-2002.....	50
<b>Chapitre IV</b>	
I. Relationship costs/benefits according to the programs and the Nicaraguan tomato farmer management.....	104

## RÉSUMÉ GÉNÉRAL

En Amérique tropicale, les récoltes de coton, fèves, poivrons et tomates sont sévèrement réduites par la présence des Geminiviridae transmis par les biotypes A et B de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrodidae). Depuis la fin des années 80, les mouches blanches sont devenues le principal ravageur agricole avec des conséquences économiques dévastatrices pour les producteurs maraîchers. La lutte contre le complexe mouche blanche-geminivirus dans la culture de tomate s'effectue au moyen d'insecticides chimiques. Cependant, dans les régions d'Amérique tropicale, il y a peu d'insecticides efficaces disponibles, dû au développement de la résistance aux produits utilisés et, dans le cas de petits producteurs, à son coût élevé. En Amérique centrale, plus particulièrement au Nicaragua, il n'y a pas de programme efficace de lutte contre le complexe mouche blanche-geminivirus dans la culture de tomate. L'objectif de cette thèse va fondamentalement dans cette direction.

Le premier chapitre de cette étude visait à obtenir un panorama des connaissances et moyens de lutte contre *B. tabaci* de 278 producteurs maraîchers du nord nicaraguayen. L'étude incluait : des aspects socio-économiques, le lieu, le système de production, les facteurs environnementaux pouvant affecter la mouche blanche, l'impact économique, les moyens de lutte et les causes de l'apparition de *B. tabaci*. Les résultats démontrent que les producteurs reconnaissaient l'adulte de *B. tabaci*, cependant, ne l'associaient pas avec les symptômes de maladie virale. Soixante-quatre pour cent des producteurs utilisaient des insecticides avec une efficacité faible ou nulle contre *B. tabaci*. Les producteurs disent perdre systématiquement jusqu'à 75% de la récolte de tomates, alors que 47% d'entre eux ont témoigné avoir abandonné leurs parcelles au moins à une reprise faute d'un contrôle adéquat de la mouche blanche.

L'objectif du second chapitre était d'identifier les parasitoïdes natifs de *B. tabaci* et d'évaluer les taux de parasitisme apparent dans trois cultures maraîchères: tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber) et poivron (*Capsicum annuum* L.). Durant la saison pluvieuse, les parasitoïdes prédominants en cultures de courges et tomates étaient *Encarsia pergandiella* Howard et *E. nigriceps* Dozier (Hymenoptera : Aphelinidae : Coccophaginae). Les taux moyens de parasitisme étaient de 17% et 10% pour les cultures de courge et de tomate respectivement. Sur poivron, les espèces rencontrées étaient *E. pergandiella*, *E. nigriceps*, *E. desantisi* Viggiani et *Amitus* sp. (Hymenoptera : Platygastridae : Sceliotrachelinae), avec un taux de parasitisme moyen de 12%. Durant la saison sèche, les parasitoïdes sur courge étaient *E. pergandiella* et *E. nigriceps*, avec un taux de parasitisme moyen de 57%. Sur tomate, *E.*

*pergandiella* était la seule espèce responsable avec un taux de 58%, tandis que pour le poivron, les espèces étaient *E. pergandiella* et *E. nigricephala*, avec un parasitisme de 42%. L'abondance des parasitoïdes est restée stable durant les deux saisons d'échantillonnage. Les résultats obtenus suggèrent que le taux de parasitisme apparent est indépendant de la densité de *B. tabaci*. C'est la première mention de la présence de *E. pergandiella*, *E. nigricephala*, *E. desantisi* et *Amitus* sp. en tant que parasitoïdes de *B. tabaci* au Nicaragua.

Le troisième chapitre consistait à évaluer le rôle de la pubescence foliaire comme source potentielle de résistance contre *B. tabaci*. L'étude cherchait plus précisément à connaître le rôle de la pubescence foliaire dans le choix de ponte de la mouche blanche sur trois plants hôtes, ainsi que l'effet de la pubescence sur la prédation de *Bemisia tabaci* par la chrysope *Chrysoperla externa* (Hagen). La mouche blanche a démontré une préférence à pondre sur des feuilles pubescentes. Le temps alloué à la recherche des proies par le prédateur *C. externa* ne fut pas affecté par la présence des trichomes, mais les chrysopidés ont plus de difficulté à rencontrer les proies et à se nourrir sur des feuilles présentant une haute densité de trichomes. Nos résultats supportent l'hypothèse que la haute densité de trichomes fournit à *B. argentifolii* une zone libre d'ennemis naturels dus au fait que les larves sont significativement moins susceptibles à la prédation sur ce type de surface.

Finalement le quatrième et dernier chapitre présente une série des travaux visant au développement d'un programme de lutte intégrée contre la mouche blanche en tomate au Nicaragua. L'étude a été constituée de cinq volets: 1) fluctuation annuelle de *B. tabaci* en fonction de la saison et des ennemis naturels, 2) évaluation de cultivars tolérants aux geminivirus, 3) évaluation des mailles de protection des pépinières, 4) élaboration du programme de lutte intégrée et 5) validation du programme en champ. Les résultats obtenus ont permis d'élaborer un programme qui intègre la lutte génétique, physique, chimique, biologique et culturelle. Le programme d'application facile et respectueux de l'environnement a permis d'augmenter de plus de quatre fois la récolte de tomates par rapport à la moyenne nationale et d'obtenir un ratio coût/bénéfice de 1: 8.

Finalement le programme élaboré et validé *in situ* permet l'obtention de hauts rendements donnant l'espoir aux producteurs maraîchers du nord nicaraguayen à rétablir la culture de tomate, virtuellement disparue de nous jours et si importante dans les systèmes de production des petits agriculteurs.

**Mots clés:** Lutte intégrée, *Bemisia tabaci*, tomate, Nicaragua

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## 1. MISE EN CONTEXTE

En général, dans les pays en voie de développement, la majorité de la population produit sa propre nourriture et dépend de ses cultures pour s'alimenter et accéder à un revenu. Cependant, les récoltes peuvent être affectées par des herbivores et des maladies. Parmi les maladies, les virus peuvent, dans des cas sévères réduire les rendements à zéro et mener dans des cas extrêmes à l'abandon de la culture et à la faillite de l'agriculteur. Les maladies virales ont déjà causé, en agriculture, des pertes catastrophiques, tel le cas de la feuille blanche du riz, la tristesse du citrus et de plusieurs autres maladies causées par des geminivirus (Agrios 1997).

Les virus peuvent attaquer une grande gamme d'espèces végétales. Une des familles de plantes lourdement attaquées par les virus est la famille de Solanaceae qui inclut plusieurs espèces largement cultivées, telle que la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), la pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.), le poivron (*Capsicum annum* L.) et le tabac (*Nicotiana tabacum* L.). Au Nicaragua, la culture de la tomate vient en tête des cultures maraîchères, ce qui lui confère une grande importance économique pour le pays. Cependant, en Amérique tropicale, la tomate est principalement infectée par un geminivirus transmis par le biotype B de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrodidae) connu comme étant *B. argentifolii* Bellows et Perring (Perring et al. 1993). Cependant, des controverses existent quant à la taxonomie du vecteur (Brown et al. 1995b).

Jusqu'aux années 90, les geminivirus transmis par la mouche blanche (*B. tabaci*) causaient des problèmes dans l'hémisphère occidental, principalement dans la production des légumineuses (Polston et Anderson 1999). Toutefois, au milieu des années 80, un nouveau biotype ou espèce de mouche blanche qui se nourrit et se reproduit mieux sur le tomate que la plupart des biotypes locaux a été introduit en Amérique (Schuster et al. 1990). Cette espèce de mouche blanche s'est dispersée en

Amérique et continue à envahir de nouvelles régions, principalement en Amérique du Sud (Polston et Anderson 1999).

Depuis la fin des années 80, plusieurs cultures ont été fortement affectées par la fréquence des geminivirus transmises par le biotype B de *B. tabaci* (Polston et Anderson 1999). En moins de dix ans, les mouches blanches sont passées de ravageur secondaire à principal ravageur agricole (Brown 1994) avec des conséquences économiques dévastatrices pour les producteurs de tomates.

Bien qu'il n'y ait pas d'études rigoureuses en Amérique latine sur les pertes de tomates par les geminivirus, les données disponibles sont impressionnantes. Au Vénézuela, la production de tomates a diminué de 50% (Salas et Mendoza 1995). Dans la Vallée de Comayagua, Honduras, les producteurs de tomates ont perdu en 1992, 4,6 millions de dollars américains dû aux geminivirus (Caballero y Rueda 1993) et au Nicaragua, des régions complètes consacrées à la production de la tomate ont été détruites avec des pertes qui fluctuaient entre 20 et 100% (Varela 1995).

La lutte au complexe mouche blanche-geminivirus dans la culture de tomates par la réduction de la densité du ravageur autant que possible et des plantes infectées est difficile et coûteuse. Actuellement, les insecticides constituent le seul moyen à disposition. Cependant, lutter contre un vecteur viral au moyen d'insecticides est extrêmement coûteux. Plusieurs insecticides, huiles et savons sont utilisés pour réduire les populations de mouches blanches et la transmission des geminivirus, autant en serre qu'au champ (Schuster et al. 1993). Dans quelques régions et durant certaines périodes de l'année, l'usage d'insecticides peut réduire les pertes. Cependant, dans les régions d'Amérique tropicale, il y a peu d'insecticides efficaces disponibles, dû au développement de la résistance à ces produits et, dans le cas de petits producteurs, à son coût élevé. Un insecticide a été introduit dans les années 90, l'imidaclopride, avec une plus grande efficacité contre *B. tabaci* (Polston et al. 1994b). Cependant, il existe déjà des populations résistantes à l'imidaclopride en Espagne (Cahill et al. 1996).

Actuellement, il n'y a pas non plus de lignées résistantes de tomate, au moins commercialement, soit aux mouches blanches, ou aux geminivirus. Quelques lignées améliorées de tomate, ont été identifiées comme tolérantes et elles paraissent être des sources potentielles de résistance (Giordano et al. 1996, Scott et al. 1995).

Finalement, dans la plupart des régions de l'Amérique latine, il n'y a pas de programmes efficaces de lutte contre les geminivirus transmis par la mouche blanche dans la culture de tomates. La stratégie de lutte contre la plupart des geminivirus doit passer par plusieurs composantes et se fonder sur la compréhension des systèmes qui les intègrent.

L'étude présentée dans ce document se dirige fondamentalement dans cette direction. Dans les premières sections du travail, l'état des connaissances présentera les aspects nécessaires à la compréhension de la problématique. Quatre chapitres élaboreront les différents aspects étudiés. Dans la conclusion, les connaissances acquises seront discutées dans le cadre de la mise en place d'un programme de lutte intégrée.

## 2. ÉTAT DES CONNAISSANCES

### 2.1 CARACTÉRISATION BIOÉCOLOGIQUE DE *BEMISIA TABACI* (GENNADIUS, 1899).

Caractériser la biologie d'un insecte implique l'acquisition de connaissance tels que la plasticité génétique, le cycle de vie, la distribution géographique, la capacité d'adaptation, les préférences alimentaires, la capacité reproductive, les mouvements, les dommages etc. i.e. les attributs biologiques intrinsèques à l'insecte. Connaître ces attributs s'avère indispensable dans l'élaboration de méthodes de lutte appropriées contre les ravageurs.

#### 2.1.1 La mouche blanche *Bemisia tabaci*.

Environ 1200 espèces de mouches blanches (Homoptera : Aleyrodidae : Aleyrodinae) ont été décrites jusqu'à maintenant (Bink-Moenen et Mound 1990), mais peu affectent les productions agricoles. Deux espèces sont importantes en termes économiques, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) et *Bemisia tabaci*. La première prédomine dans les serres sur des plantes ornementales et horticoles dans les pays tempérées et les hautes terres des pays tropicaux, et elle cause des dégâts directs (extraction de la sève et affaiblissement des plantes). *Bemisia tabaci* est prédominante dans les zones subtropicales et tropicales du monde et causent des dégâts semblables à *T. vaporariorum*, mais est aussi vecteur de plusieurs types de virus et capable de causer quelques altérations phytotoxiques (Brown et Bird 1992, Brown 1994, Perring 1996).

*Bemisia tabaci* est une espèce difficile à identifier à cause du manque de caractères morphologiques clairs pour leur identification et des variantes intraspecifiques (Mound 1963; Mohanty et Basu 1986; Lamelle 1992; Gawel et Bartlett 1993; Bedford et al. 1994). Conséquemment, *B. tabaci* a été considéré comme

un complexe d'espèces (Brown et al. 1995; Rosell et al. 1997; Frohlich et al. 1999) ou une espèce complexe (Perring et al. 1993; Bellow et al. 1994).

### **2.1.2 Plasticité génétique.**

*B. tabaci* a au moins 19 biotypes bien documentés (dénommé par des lettres, qui vont de la lettre A jusqu'à la S) (Perring 2001). Trois biotypes sont les plus répandus, le biotype A originaire d'Amérique, le B (natif d'Europe) et le Q (localisé dans le bassin méditerranéen). Toutefois, au moins six biotypes sont présents en Amérique (Brown 1992, Brown et al. 1995a, DeBarro et Driver 1997). Cependant, de l'information détaillée existe seulement pour les biotypes A et B. Il est connu que le biotype B (= *B. argentifolii* (Bellows et Perring.)) contraste avec le biotype A par sa fécondité plus grande. De plus, il complète son développement dans la culture de la tomate, il attaque plus de cultures et ses larves induisent des altérations phytotoxiques au moins aux cucurbitées, aux tomates, aux brocolis et aux laitues (Perring 1996). Également, le biotype B est un vecteur des geminivirus effectif (Markham et al. 1996).

Chaque biotype du complexe *B. tabaci* présente des variations dans sa distribution géographique, sa gamme de plantes hôtes, sa fécondité, son comportement de dispersion, sa résistance aux insecticides, ses ennemis naturels, et son endosymbiose (Rowland et al. 1991; Costa et al. 1993a; Costa et al. 1993b; Bedford et al. 1994; Costa et al. 1995; Kirk et al. 2000; McKenzie et al. 2004). Quelques-uns de ces facteurs peuvent influencer l'évolution du biotype et peut-être la formation de nouveaux biotypes.

### **2.1.3 Cycle de vie et apparence.**

La mouche blanche *B. tabaci* est un homoptère paurométabole appartenant à la famille Aleyrodidae, (Idris et al. 2001; Brown et Czosnek 2002). Son cycle de vie

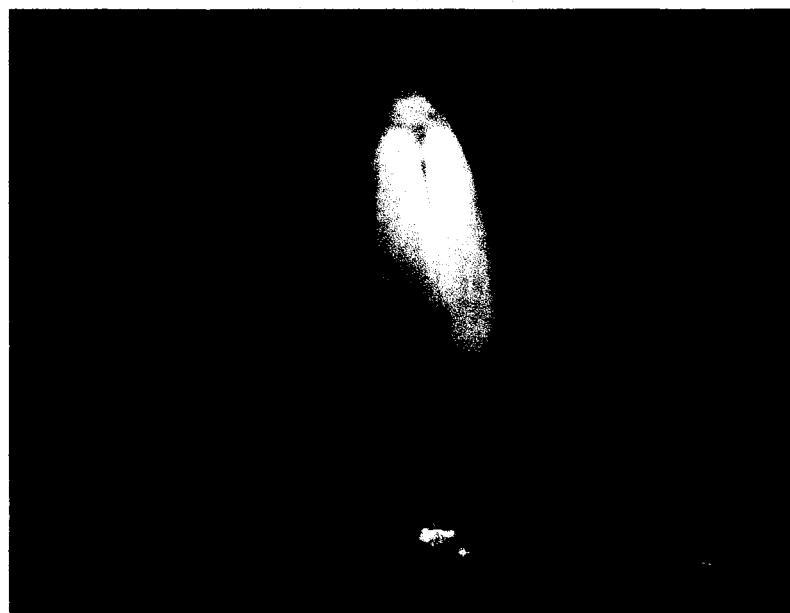
passe par un stade d'oeuf, trois stades larvaires, un faux stade pupal et le stade d'insecte adulte (Christiansen et al. 2002). Une femelle peut pondre entre 60 et 100 oeufs. (Prakash et al. 1999). Elle insère les oeufs dans le tissu foliaire au moyen d'un pédicelle (Gerling 2002). Les oeufs de *B. tabaci* sont, d'une couleur vert jaunâtre contrairement aux oeufs de *T. vaporariorum* de couleur noir (Ferguso et al. 2003). Le premier stade (mobile) s'établit près du site d'oviposition, après avoir localisé une place appropriée pour insérer son stylet et accéder aux tissus du phloème (Gerling 2002). Les trois stades larvaires subséquents restent à la même place, réintroduisant le stylet après chaque mue. Le dernier stade (IV) se transforme en « pupe » pour devenir ensuite un adulte ailé qui émergera à travers une incision fait sur le dos de l'exosquelette de la pupe (Gerling 2002). Son cycle de vie varie entre 15 et 18 jours.

Les œufs, les larves et les adultes sont généralement groupés sur la face inférieure des feuilles.

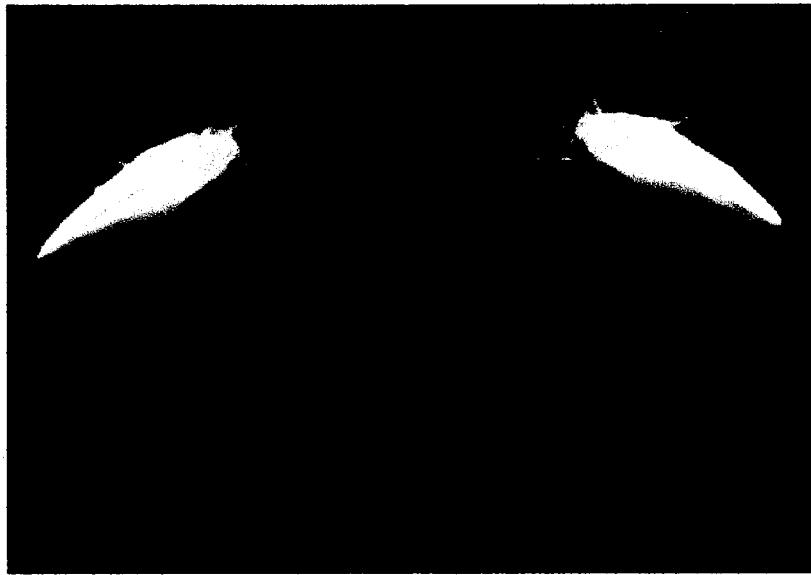
L'adulte de *B. tabaci* ressemble fortement à l'aleurode de serre (*T. vaporariorum*), avec des ailes blanches et un corps jaunâtre recouvert de cire blanche. Cependant *B. tabaci* (Fig. 1) a une couleur plus jaune que *T. vaporariorum* (Fig. 2), et il est plus petit, mesurant environ 1 mm de long (Prakash et al. 1999) comparativement à 1,5 à 2 mm de long pour *T. vaporariorum* (Ferguso et al. 2003). *Bemisia tabaci* garde ses ailes avec un plus grand angle lorsqu'il se repose (Fig. 1) comparé à *T. vaporariorum* (Fig. 2) (Hilje, 1996).



**Figure 1** *Bemisia tabaci* (Gennadius) Photo Robin Gunning (30X)



**Figure 2** *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) Photo: Robin Gunning (23X)



**Figure 1** *Bemisia tabaci* (Gennadius) Photo Robin Gunning (30X)



**Figure 2** *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) Photo: Robin Gunning (23X)

#### 2.1.4 Distribution.

*B. tabaci* (Gennadius 1889) a été décrite pour la première fois en Grèce en 1889 sur la culture de tabac. Par la suite, elle a été observée en Floride dans la même décennie (Mound 1963; Hamon et Salguero 1987), mais *B. tabaci* n'a pas été considéré un problème jusqu'en 1986 (Price 1987).

Les premières mentions de *B. tabaci* en Amérique Centrale ont été faites dans les années 60, dans les cultures de coton, au El Salvador (Vaquero 1967) et au Nicaragua (Swezey et al. 1986). Cependant un bon nombre de chercheurs pensent que *B. tabaci* était depuis longtemps présente (Serrano, L. 1999, *com. pers*). Toutefois, son action dévastatrice ne commence à être reportée qu'à partir de 1991 (Hilje 1996).

#### 2.1.5 Plasticité d'adaptation.

*B. tabaci* a habité historiquement les régions tropicales et subtropicales (Bink-Moenen et Mound 1990). Cependant, le biotype B a une plus grande tolérance au froid que le biotype A, ce qui lui a permis d'envahir des régions localisées à plus grande altitude et latitude (Brown 1994), aussi bien qu'à supporter des climats adverses et de rétablir ses populations très rapidement (Perring 1996).

Leur dissémination rapide a favorisé l'apparition de problèmes viraux inconnus auparavant en Amérique (Polston et Anderson 1997). L'apparition en Floride d'un désordre inconnu associé à la maturation de la tomate et de la feuille argentée de la courge a été associée à la présence d'un nouveau biotype (Schuster et al. 1990; Schuster et al. 1991). Le nouveau biotype a été désigné comme étant le biotype B pour le différencier du biotype original A, et il est actuellement reconnu par quelques auteurs comme étant *Bemisia argentifolii*.

### 2.1.6 Capacité reproductive.

Comme c'est le cas pour la plupart des insectes, les populations de *B. tabaci* augmentent en fonction de leur capacité reproductive qui est déterminée par la fécondité, la durée du développement et la proportion des sexes. La fécondité du biotype B est en moyenne près de 200 oeufs par femelle, ce qui est le double du biotype A (Bethke et al. 1991); la durée du développement est d'approximativement 40 jours en milieu tropical (Eichelkraut et Cardona 1989, Salas et Mendoza 1995); la proportion des sexes est très variable, les femelles pouvant se reproduire par parthénogénèse arrhénothique, c'est-à-dire, que les oeufs qui ne sont pas fertilisés ne produisent que des mâles (Byrne et Bellows 1991; Gerling 2002).

Les densités depopulations de *B. tabaci* sont en général très élevées dans les pays tropicaux car le potentiel reproductif optimal de *B. tabaci* se situe entre 20-30°C (Gerling et al. 1986) raccourcissant ainsi le temps entre générations. Dans le cas de *B. tabaci*, qui agit comme vecteur viral, cela favorise la dissémination de la maladie. Cependant, durant les saisons pluvieuses des fortes densités d'adultes ne sont pas nécessaires pour avoir des champs de tomate 100 % détruits par le virus (Hilje 2001).

### 2.1.7 Vol.

*Bemisia tabaci* a fondamentalement deux types de vol: 1) le migrateur, où le déplacement de la mouche blanche dépend des courants d'aire élevées pour coloniser des nouveaux champs (Byrne et von Bretzel 1987). Ce type de vol permet à *B. tabaci* de parcourir jusqu'à 7 km de son point d'origine (Cohen et Ben-Joseph 1986); 2) les vols courts faits à l'intérieur de la parcelle (Blackmer et Byrne 1993). Dû à la vitesse de dissémination des geminivirus dans les champs, il semblerait que les courts à l'intérieur de la parcelle seraient le principal moyen de dissémination des épidémies virales.

### 2.1.8 Préférences alimentaires.

*Bemisia tabaci* est un ravageur extrêmement polyphage se nourrisant sur au moins 500 plantes hôtes (Greathead 1986). En Amérique latine et dans les caraïbes, il attaque au moins 50 cultures (Anderson et al. 2005), appartenant principalement aux genres *Gossypium*, *Mangifera*, *Lactuca*, *Brassica*, *Carica*, *Manihot*, *Phaseolus*, *Glycine*, *Persea*, *Sesamum*, *Zea*, *Oryza*, *Saccharum*, *Citrullus*, *Nicotiana*, *Capsicum*, *Solanum*, *Lycopersicon*, *Fragaria* (Nunes et Davila 2004), et 50 espèces de plantes sauvages (Hilje 1995).

Le biotype B peut attaquer des cultures que le biotype A n'attaque pas comme les crucifères : (le chou, le chou-fleur et le brocoli), la laitue, les citriques et les Caricaceae, comme la papaye. De plus, le biotype B peut compléter son développement dans la culture de la tomate (Perring 1996). Toutefois, l'insecte ne se reproduit pas dans toutes ces cultures ou plantes sauvages.

**Tableau I.** Principales plantes hôtes de *B. tabaci* cultivées en Amérique latine.

Nom scientifique	Nom commun	Famille
<b>Principales cultures</b>		
<i>Capsicum annuum</i>	Poivron	Solanaceae
<i>Capsicum frutescens</i>	Chili	Solanaceae
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Tomate	Solanaceae
<i>Gossypium hirsutum</i>	Coton	Malvaceae
<i>Cucurbita argyrosperma</i>	Courge	Cucurbitaceae
<i>Cucurbita pepo</i>	Courge	Cucurbitaceae
<i>Citrullus lanatus</i>	Pastèque	Cucurbitaceae
<i>Cucumis melo</i>	Cantaloupe	Cucurbitaceae
<i>Glycine max</i>	Soja	Fabaceae
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Haricot	Fabaceae
<b>Cultures secondaires</b>		
<i>Arachis hypogaea</i>	Cacahuète	Fabaceae
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i>	Chou	Brassicaceae
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>	Brocoli	Brassicaceae

Tableau 1 (suite).

Nom scientifique	Nom commun	Famille
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Botrytis</i>	Chou-fleur	Brassicaceae
<i>Cucumis sativus</i>	Concombre	Cucurbitaceae
<i>Cucurbita maxima</i>	Courge	Cucurbitaceae
<i>Helianthus annuus</i>	Tournesol	Compositae
<i>Ipomoea batatas</i>	Patate douce	Convolvulaceae
<i>Lactuca sativa</i>	Laitue	Asteraceae
<i>Nicotiana tabacum</i>	Tabac	Solanaceae
<i>Passiflora edulis</i>	Fruit de passion	Passifloraceae
<i>Sesamum indicum</i>	Sésame	Pedaliaceae
<i>Solanum melongena</i>	Aubergine	Solanaceae
<i>Vitis vinifera</i>	Raisin	Vitaceae
<i>Solanum tuberosum</i>	Pomme de terre	Solanaceae

Source Anderson et al. (2005), et modifié.

### 2.1.9. Dommages.

Les larves et les adultes de *B. tabaci* peuvent causer directement des dommages en suçant le tissu des feuilles ce qui affaiblit la plante par l'extraction de la sève et provoquant des altérations toxiques (Brown et Bird 1992, Brown 1994, Perring 1996). Cependant, les dommages causés par la transmission de virus sont les plus importants. L'adulte de *B. tabaci* est un vecteur important de plusieurs types de virus tels que les potyvirus, les comovirus, les potexvirus, les geminivirus (Maes 2000), les carlavirus, les luteovirus, les nepovirus, les geminivirus et les closterovirus (Brown 1994). Cependant, sont les geminivirus (Geminiviridae) la principale famille virale causant des pertes importantes dues à leur dissémination rapide à travers le phloème de la plante (Hilje 1996). Même une population relativement peu importante de mouches blanches peut causer beaucoup de dommages par la transmission de geminivirus. Mondialement, *B. tabaci* transmet 50 geminivirus (Markham et al.

1996). En Amérique, des geminivirus ont été détectés dans les cultures de coton, poivron, piment, laitue, plusieurs légumineuses, cantaloup, gombo, concombre, pastèque et tomate (Brown 1994). Les geminivirus transmis par la mouche blanche sont devenus le principal groupe de pathogènes des cultures maraîchères des régions subtropicales et tropicales de l'hémisphère occidental. De plus, les populations de *B. tabaci* ont développé rapidement de la résistance aux divers insecticides utilisés (Perring 2001). Les pertes de rendement associé à *B. tabaci* peuvent atteindre 100% (Varela 1995).

## 2.2. LE COMPLEXE DU GENRE *BEGOMOVIRUS*, FAMILLE *GEMINIVIRIDAE* TRANSMIS PAR *B. TABACI* À LA TOMATE.

D'après Hull (2002), un virus est une série d'une ou plusieurs formes de molécules d'acides nucléiques, normalement enfermées dans une enveloppe protectrice de protéine ou lipoprotéine et capable de se reproduire uniquement dans les cellules d'hôtes convenables.

### 2.2.1. La famille *Geminiviridae*

La famille *Geminiviridae* est l'un des plus grands groupes de virus qui attaque les plantes. La morphologie des particules du geminivirus est caractérisée par deux couvertures icosaédriques (*Gemini* = gémelle), unies (Hilje 1996). Ils sont de petites tailles (30 x 20 nm). Ils ont un simple brin d'ADN circulaire qui se reproduit dans le noyau de la cellule hôte. La transmission de geminivirus par *B. tabaci* est en mode persistante (le virus se maintient viable pour plusieurs jours à l'intérieur de l'insecte) et ils ont la propension d'infecter les cellules du phloème (Arguello-Astorga et al. 1994; Sunter et al. 1994; Harrison et Robinson, 1999; Varma et Malathi, 2003).

Les infections produites par les geminivirus peuvent affecter la plante à bien des égards. Un des processus physiologiques gravement affecté est la photosynthèse avec une diminution de la production d'amidon par le plant; également les geminivirus interrompent la formation des fleurs et des fruits dans les cultures de tomates, poivrons et du coton (Moffat, 1999).

Par l'organisation du génome et leurs propriétés biologiques, les geminivirus sont séparés en quatre genres, soit les *Mastrevirus*, *Curtovirus* et *Topocuvirus* qui ont un génome monopartite et qui sont transmis aux plantes monocotylédones et dicotylédones par les insectes appartenant à la famille des Cicadellidae et le genre *Begomovirus* transmis par les mouches blanches aux plantes dicotylédones comme le virus de la mosaïque du haricot doré "*Bean golden mosaic virus*" (BGMV) qui présente un génome bipartite (composants A et B). Cependant, les *Begomovirus* tels les virus des feuilles jaunes en cuillère de la Tomate "*Tomato yellow leaf curl virus*" (TYLCV), le virus des feuilles en cuillère du coton "*Cotton leaf curl virus*" (CLCuV), le virus des feuilles en cuillère de la Tomate "*Tomato leaf curl virus*" (ToLCV), ne présentent que le composant B (Fauquet et al. 2003).

### 2.2.2. Le genre *Begomovirus*

Les *Begomovirus* sont en constante évolution et posent une menace sérieuse à une variété des cultures, en particulier dans les tropiques et sous-tropiques (Saunders et al. 2003; Varma et Malathi, 2003; Bull et al. 2004; Stanley, 2004). D'après Polston et Anderson (1997), 17 *Begomovirus* infectaient la tomate en Amérique au milieu des années 1990. La tomate, le poivron et les cucurbitacées sont infectés par pas moins de 39 espèces de *Begomovirus*, 22 confirmées et 17 probables (Fauquet et al. 2003).

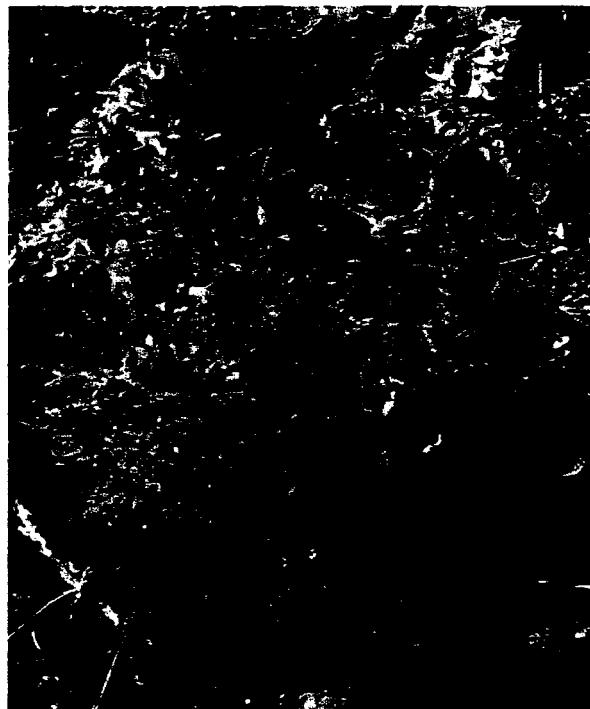
Les sévères épidémies observées en Amérique centrale et dans les Caraïbes paraissent être dues à l'apparition du biotype B de *B. tabaci*, à l'évolution de nouvelles variantes de virus, aux changements de méthodes culturales et à

l'introduction de variétés de plantes cultivées plus sensibles (Brown, 1997; Morales et Anderson, 2001; Zhou et al. 2001; Ramos et al. 2003; Ribeiro et al. 2003; Varma et Malathi, 2003).

### **2.2.3. Cycle d'infection et transmission.**

La première étape pour l'infection est l'inoculation du *Begomovirus* aux cellules de la plante par le vecteur *B. tabaci*. Cependant une interaction virus - hôte spécifique est nécessaire pour que l'infection du *Begomovirus* se produise (Lazarowitz, 1999). La deuxième étape est le déplacement du virus vers le noyau de la cellule où la réplication et la transcription du génome se produit. Le mouvement de la particule du virus est entièrement dépendant de la protéine qui l'enveloppe et des interactions avec le réseau de transport de l'hôte (Gafni et Epel, 2002). La dernière étape est le processus de réplication qui dans le cas des *Begomovirus* adopte une stratégie d'enroulement avec des protéines virales pour pouvoir décoder les composantes du génome (Gutierrez, 2000).

Le temps minimum requis pour que *B. tabaci* acquière et transmette les *Begomovirus* se situe entre 10 et 60 min. et entre 10 et 30 min. pour l'acquisition et la transmission respectivement (Idris et Brown, 1998; Brown and Czosnek, 2002; Muniyappa et al. 2003). Après l'acquisition, les *Begomovirus* peuvent être viables à l'intérieur de la mouche blanche entre 5 à 20 jours, quelquefois durant toute la vie de la mouche blanche (Costa, 1976; Stenger et al. 1990; Brown et Bird, 1992; Nateshan et al. 1996; Rubinsten and Czosnek, 1997; Idris et Brown 1998; Idris et al. 2001; Brown et Czosnek, 2002; Muniyappa et al. 2003).



**Figure 3** Plant de tomate infecté avec le *Begomovirus* des feuilles jaunes en cuillère de la tomate "Tomato yellow leaf curl virus" (TYLCV), transmis par *B. tabaci* en Estelí, Nicaragua. Symptômes typiques de distorsion des feuilles, enroulement foliaire, et taches chlorotiques. Photo: Claudio Nunes.

### 3. IMPORTANCE ÉCONOMIQUE.

Les geminivirus ont été reconnus comme la principale contrainte biotique dans la production de tomates en Amérique tropicale et subtropicale à maintes reprises. Cependant, peu d'études formelles ont été entreprises pour estimer les pertes de récolte dues aux geminivirus transmis par *B. tabaci*. Toutefois quelques études existent, par exemple, en Floride, le geminivirus (ToMoV) transmis par *B. tabaci* a été observé dans toutes les régions productrices de tomates, avec des taux d'infestation allant jusqu'à 95% (Polston, et al. 1993; Polston et al. 1996) et les pertes dues au ToMoV ont été estimées à US\$140 millions pour la période 1990 et 1991 (Schuster, 1992). Des données plus complètes viennent de la République Dominicaine. Entre 1988 et 1995, les geminivirus ont affecté la région centre-sud et nord-ouest du pays, causant des dégâts de l'ordre de 5 à 95 % de la production, avec

des pertes économiques estimées pour la période à U\$ 50 millions (Alvarez et Abud-Antún 1995).

Les données provenant de l'Amérique Centrale et du Sud sont moins complètes, mais le même patron d'épidémies et de pertes se manifeste. Par exemple, au Nicaragua des zones entières productrices de tomate ont été dévastées par les geminivirus (Dicovskiy L. E. *com. pers.* 2001). Au Vénézuéla, la production de tomates a été réduite de 50 % (Salas et Mendoza 1995). Entre 1989 et 1995, Puerto Rico a souffert d'une perte de production de tomates estimée à U\$40 millions dû à la mouche blanche et les geminivirus (Bird et al. 1995). Finalement, dans la Vallée de Comayagua, au Honduras, les pertes estimées pour les maladies causées par les geminivirus ont été de U\$4.6 millions en 1992 (Caballero et Rueda 1993).

#### **4. LES MÉTHODES DE LUTTE CONTRE LE COMPLEXE *B. TABACI*-GEMINIVIRUS**

La lutte contre *B. tabaci* et les geminivirus dans la production de tomates en champs est difficile et coûteuse. Les plantes infectées par des virus sont incurables, les seuls moyens de lutte à la disposition des producteurs sont essentiellement préventifs, visant à éviter la contamination des plantes.

Comme les geminivirus ne se transmettent pas par inoculation mécanique (Cohen et al. 1989), la lutte doit viser principalement à éliminer ou exclure le vecteur ainsi que les plantes-hôtes qui peuvent servir de réservoir.

##### **4.1 Pratiques culturelles et lutte physique.**

Toute pratique culturelle visant à retarder l'inoculation du virus lors du développement du plant aura un effet positif sur le rendement (Lecoq, 1995).

La pratique la plus importante consiste à transplanter des plantules libres de virus. Le principe consiste à obtenir des plantes sans virus (par exemple en les

protégeant avec des filets ou mailles anti-virus). Transplanter en champ des plants sains est très important pour empêcher le développement d'épidémies précoces dans les parcelles et limiter la dissémination de virus. Connaître les périodes où les densités des plantes hôtes pour les mouches blanches sont faibles peut réduire les populations de l'insecte et diminuer le nombre de vecteurs virulents (Polston et Anderson 1997). Des revêtements qui reflètent les UV peuvent (par confusion de l'insecte) diminuer le nombre des plantes infectées avec le virus, dans les premières étapes du développement végétal (Csizinszky et al. 1995).

Une culture âgée ou abandonnée peut être une source abondante de virus et de vecteurs. Il convient d'éviter ce genre de situation en éliminant les cultures dès qu'elles ne sont plus productives. Les nouvelles plantations de tomates ne devraient pas être non plus semées près des plantations déjà établies et les pépinières devraient être loin des lieux de production (Polston et Anderson 1997).

Une autre pratique à prendre en compte peut être la modification des calendriers de plantation, pour éviter les hautes densités du vecteur ou pour faire en sorte que les plantes soient déjà en production et donc moins sensibles. Finalement, des engrais peuvent être utilisés pour renforcer la vigueur de la plante. Cependant, toutes ces pratiques ne paraissent pas être efficaces, à moins qu'ils soient utilisés conjointement avec des insecticides ou avec des cultivars tolérants (Polston et Anderson 1997).

#### **4.2. Lutte chimique**

Il y a peu d'insecticides actuellement capables de tuer *B. tabaci* en un laps de temps assez court pour éviter la transmission des geminivirus (Schuster, et al. 1993). Cependant, des insecticides comme des huiles et des savons sont utilisés pour réduire les populations de mouches blanches, autant en serre qu'au champ (Schuster, et al. 1993). Dans quelques endroits et à certains moments, l'usage d'insecticides peut réduire les pertes. Cependant, dans les régions tropicales, il y a peu d'insecticides

efficaces disponibles, dû au développement de la résistance à ces produits. La capacité des mouches blanches à développer de la résistance a été largement documentée (Dittrich et al. 1990; Buitrago et al. 1994; Horowitz et Ishaaya 1996; Cahill et al. 1996b, Denholm et al. 1996; Cardona et al. 1998; 2001; Elbert et Nauen 2000; et Palumbo et al. 2001).

Toutefois, des nouveaux insecticides tels que diafenthiuron, buprofezine, imidaclopride et pyriproxyfène sont pour le moment efficaces (Rodriguez et al. 2003). Nonobstant, des populations résistantes à l'imidacloprid existent déjà, en Espagne (Cahill et al. 1996).

#### **4.3 Lutte biologique.**

En général, les principaux moyens de lutte contre un vecteur viral ayant une forte capacité à développer de la résistance aux insecticides sont : le développement de cultivars résistants et l'utilisation d'agents de contrôle biologiques (parasitoïdes, prédateurs et entomopathogènes). Plusieurs ennemis naturels ont été associés à *B. tabaci* (Gerling 1986, Hoelmer et al. 1999). Cependant, il y a trois aspects qui empêchent les ennemis naturels d'effectuer une lutte efficace contre *B. tabaci* en milieu naturel : 1) En absence d'hôtes alternatifs, les ennemis naturels ne colonisent pas la culture ni la végétation environnante car ils ont besoin d'une densité suffisante de larves de mouches blanches pour s'établir. De plus, quelques adultes de *B. tabaci* peuvent répandre rapidement les geminivirus, avant que les parasitoïdes et prédateurs agissent, 2) Leurs ennemis naturels ne sont pas strictement spécifiques. Par exemple, les prédateurs, *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera : Chrysopidae) et *Coleomegilla maculata* (De-Geer) (Coleoptera : Coccinellidae) attaquent d'autres proies, tandis que *Delphastus catalinae* (Horn) [avant *D. pussillus* (Leconte)] (Coleoptera : Coccinellidae) et les parasitoïdes des larves attaquent d'autres Aleyrodidae présents dans les mêmes habitats où se trouve *B. tabaci*. Ce manque de spécificité affaiblit leur action contre *B. tabaci*; 3) De plus, la petites tailles des

parasitoïdes et leur intense activité les rendent plus susceptibles aux insecticides, ce qui limite leur utilisation en cultures maraîchères de champs ouverts.

Il y a plusieurs exemples de succès de lutte biologique contre les mouches blanches, comme par exemple avec l'endoparasitoïde larvaire *Encarsia formosa* Gahan (van Lenteren et Woets 1988, van Lenteren et van Roermund 1999, van Lenteren 2000) et le prédateur *D. catalinae* (Heinz et Zalom, 1996; Obrycki et Kring, 1998). Cependant, ces succès ont toujours été obtenus en serres.

Toutefois, la lutte biologique peut être complémentaire avec d'autres tactiques de lutte en champ.

En Amérique centrale, l'information disponible en ce qui concerne la présence des parasitoïdes de *B. tabaci* est limitée. Dans une étude de reconnaissance effectuée en Amérique tropicale, Schuster et al. (1998) citent *Encarsia pergandiella* Howard, *E. nigriceps* Dozier, (Hymenoptera : Aphelinidae) et *Eretmocerus* sp. (Hymenoptera : Aphelinidae) comme étant les parasitoïdes les plus abondants; Bográn et al. (1998) mentionnent *E. nigriceps*, *E. pergandiella*, *E. hispida* De Santis, *E. luteola* Howard et *Eretmocerus* sp. sur les larves de *B. tabaci* au Honduras, tandis que Smith et al. (2000) rapportent la présence de *E. pergandiella* et *Eretmocerus* sp. au Guatemala. Cave (1996) cite, en plus des espèces ci-haut mentionnées, la présence de *E. citrella* (Howard), *E. desantisi* Viggiani, *E. formosa* Gahan, *E. porteri* (Mercet), *E. quaintancei* Howard, *E. strenua* (Silvestri), *Amitus* spp. (Hymenoptera : Platygasteridae) et *Signiphora aleurodis* Ashmead (Hymenoptera : Signiphoridae).

En ce qui concerne les prédateurs, moins connus que les parasitoïdes, *C. externa*, *C. maculata* et *Delphastus* sp. seraient les plus importantes en Amérique centrale. Les deux premières sont généralistes tandis que la larve et l'adulte *Delphastus* sp. sont plus spécifiques car ils se nourrissent exclusivement de larves d'Aleyrodidae (Cave, 1996).

#### 4.4. Lutte génétique (résistance des plantes)

En ce moment, il n'y a pas de cultivars de tomates résistants à la mouche blanche disponible commercialement. Il n'y a pas non plus de cultivars avec une résistance ou tolérance à aucun des geminivirus qui infecte la tomate, à la seule exception du TYLCV. Toutefois, les cultivars tolérants au TYLCV ne présentent pas de tolérance à la plupart des autres geminivirus présents en Amérique (Scott et al. 1995). Par conséquent, la plupart de variétés de tomate utilisées en Amérique sont totalement sensibles au complexe de geminivirus présent en Amérique (Polston et Anderson 1997). Plusieurs programmes d'amélioration visent à développer des variétés de tomate résistantes au geminivirus. Quelques lignées améliorées et rapportées comme tolérantes au TYLCV ont été évaluées en champ et elles paraissent être des sources prometteuses de résistance (Giordano et al. 1996, Scott et al. 1995, Anderson et al. 2005). Jusqu'à maintenant, deux types de résistance ont été trouvées: 1) la résistance multigénique, dérivée de plusieurs espèces de *Lycopersicon*; et 2) la résistance dérivée de plusieurs gènes du geminivirus (résistance dérivée de pathogènes). En effet, il a été observé que lorsque des gènes de geminivirus sont transférés aux plantes, ils démontrent une certaine résistance (Polston et Anderson 1997).

En général, les cultivars résistants au TYLCV disponibles commercialement sont peu efficaces quand les populations de mouches blanches présentent une virulence entre modérée à élevée et quand les plantes sont inoculées dans les premières semaines après la transplantation au champ (Polston et Anderson 1997). Par conséquent, la lutte contre le vecteur avec d'autres moyens est à ce moment essentielle, même avec l'usage de cultivars résistants.

Finalement, une autre source potentielle de tolérance à la mouche blanche pourrait être obtenue par une réduction de la densité de trichomes foliaires. En effet, une corrélation positive a été observée entre la densité de trichomes des plants hôtes et l'oviposition de *B. argentifolii* sur 20 cultivars commerciaux de tomate (Heinz et

Zalom 1995). De la même façon, les cultivars de coton très pubescents supportent des plus grandes populations de mouches blanches par rapport aux cultivars glabres (Butler et Henneberry 1984, Ozgur et Sekeroglu, 1986).

## 5. LE COMPLEXE GEMINIVIRUS-MOUCHE BLANCHE AU NICARAGUA.

Les *Begomovirus* transmis par *B. tabaci* sont parmi les virus les plus destructeurs. Des infections hâties du virus résultent souvent en une perte totale de la récolte. La réponse commune des agriculteurs a été l'emploi massif d'insecticides à des coûts considérables et sans les résultats escomptés (Hilje et Arboleda, 1993). Les applications d'insecticides contre les mouches blanches sont souvent faites chaque deux à trois jours ou même quotidiennement (Nunes, 2002, *obs. pers.*). Une bonne gestion de la maladie passe par la compréhension des interactions entre le pathogène, le vecteur, et la plante-hôte (Brown, 1997). Des recherches biologiques et moléculaires sont encore nécessaires pour comprendre l'épidémiologie des geminivirus et ainsi pouvoir améliorer les procédures pour développer des cultivars résistants (Zeidan et Czosnek, 1991).

En Amérique centrale, comme dans beaucoup autres pays tropicaux, il y a un besoin urgent de développer des stratégies de lutte efficaces contre *B. tabaci*. Ces stratégies doivent être développées sous une approche épidémiologique, économique et sociale, qui considère l'hôte, le vecteur, le virus, les ennemis naturels du vecteur, les facteurs de l'environnement qui les influencent, le coût et l'homme. L'activité économique la plus importante au Nicaragua est l'agriculture. Les récoltes traditionnelles du coton et du café ont été exportés pendant des décennies. La production de coton s'est arrêtée à la fin des années 70 alors que la production de café persiste encore comme le produit d'exportation le plus important. Cependant, la production de café diminue chaque année en raison du bas prix du marché

international. Comme beaucoup d'autres pays américains, le Nicaragua a commencé une diversification de l'agriculture. Des champs de tomates, poivrons et cucurbitacées ont été plantés à grande échelle pour pouvoir sortir de la production d'autosubsistance (fèves et maïs) et accéder au marché d'exportation. La production de tomates est une composante importante du système de production des petits agriculteurs. Leur système de récolte est très simple, il consiste en cinq récoltes : maïs et fèves pour la consommation, et tomates, poivrons et cucurbitacées pour la vente sur les marchés.

Les *Begomovirus* ont été observés au Nicaragua au début des années 80 dans la Vallée de Sebaco, principale région productrice de tomates. La première mention d'un *Begomovirus* en Amérique centrale a été faite au Nicaragua dans la culture de tomates par Brown et Anderson en 1986 (Polston et Anderson, 1997). Nakhla et al. (1994) ont rapporté plus tard deux *Begomovirus* associés avec la culture de la tomate en Amérique centrale, les TomGV1 et TomGV2 desquels seul le premier a été trouvé au Nicaragua. À partir du début des années 90, une épidémie de Geminivirus transmis par *B. tabaci* a affecté le pays, faisant quasiment disparaître la production de tomate. L'épidémie a affecté également le poivron et les cucurbitacées, causant des problèmes économiques et sociaux graves. *Bemisia tabaci* est devenu le principal ravageur de l'Amérique tropicale; il a été considéré le ravageur de siècle.

## 6. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.

Cette étude vise à comprendre les interactions entre *B. tabaci*, les ennemis naturels, les *Begomovirus* et le plant de tomate, dans le tropique sec nicaraguayan afin d'élaborer un programme de lutte intégrée contre *B. tabaci* et rétablir la production de tomate aux niveaux des rendements proches de ceux prévalant avant l'apparition de l'épidémie.

## **CHAPITRE I**

**DIAGNOSTICO SOBRE EL CONOCIMIENTO Y MANEJO DE  
*BEMISIA TABACI* POR LOS PRODUCTORES DEL NORTE  
NICARAGÜENSE.**

## I.1 Résumé

Dès les premiers rapports en Amérique centrale de la présence de la mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius), leurs populations n'ont pas cessé d'augmenter. Au Nicaragua, *B. tabaci* est considéré le ravageur agricole le plus destructif. La présente enquête, vise à obtenir un panorama des connaissances et moyens de lutte contre *B. tabaci* utilisés par 278 producteurs maraîchers du nord nicaraguayen. L'enquête inclut : aspects socio-économiques, région géographique, systèmes de production, facteurs environnementaux pouvant affecter la mouche blanche, l'impact économique, moyen de lutte et causes de l'apparition de *B. tabaci*. Quatre-vingt-dix-huit pour cent des interviewés connaissaient l'adulte de *B. tabaci*, mais ils ne reliaient pas les symptômes de maladie virale au vecteur. Globalement, 44, 17 et 10% des producteurs, rapportent avoir perdu respectivement 25, 50 et 75% de la récolte de tomate à cause de *B. tabaci*, alors que 47% ont témoigné avoir abandonné leurs parcelles au moins une fois. Les recommandations sur les traitements de lutte à utiliser sont venues des techniciens (57%), d'autres producteurs (29%) et des vendeurs de pesticides (7%). Par rapport aux types d'insecticides utilisés 38% des producteurs ont utilisé le methamidophos, 28% le imidacloropride, 14% le cypermétrine, 7% le deltamétron, 3,5% le malathion et 1% le thiocyclam. Mis à part les producteurs qui font usage d'imidacloropride, de deltamétron et de thiocyclam, le reste (64%) utilise des insecticides ayant peu ou pas d'effet toxique sur *B. tabaci*. Pour une population d'approximativement 3000 producteurs maraîchers, l'erreur calculée de l'enquête a été de 6%.

**Mots clés:** Producteurs maraîchers, *Bemisia tabaci*, lutte, mouche blanche, Nicaragua.

## I.2 Resumen.

La mosca blanca (MB) *Bemisia tabaci* (Gennadius) no ha cesado de incrementar sus poblaciones, convirtiéndose en el insecto plaga vector de virus mas importante en Nicaragua. Para obtener un panorama actualizado sobre los conocimientos y manejo de *B. tabaci* se encuestaron 278 productores hortícolas del norte nicaragüense. La encuesta contempló: aspectos socio-económicos, posición geográfica, sistemas de cultivo, factores ambientales, impacto económico, manejo y causas del auge de *B. tabaci*. Los resultados obtenidos indican que el 98% de los encuestados conocen el adulto de MB, mientras que los síntomas de la o las virosis no los relacionan con el vector. El 44, 17 y 10% afirman perder el 25, 50 y 75% de la cosecha respectivamente de tomate), mientras que el 47% manifiesta haber abandonado el cultivo, por lo menos en una ocasión, por causa de *B. tabaci*. Las recomendaciones del tratamiento de control a utilizar provienen del técnico (57%), del agricultor (29%) y del vendedor (7%). El 38% utiliza methamidophos, el 28% imidacloroprid, el 14% cypermrina, el 7% deltametrina, el 3,5% malathion y el 1% tiocyclam. Con excepción de los utilizadores de imidacloroprid, deltametrina y tiocyclam, el resto (64%) utiliza insecticidas de baja o nula acción contra la MB. Para una población estimada de 3000 productores, el margen de error calculado del estudio fue de 6 %.

**Palabras claves:** Agricultores, *Bemisia tabaci*, Manejo de insectos plaga, Mosca blanca, Nicaragua.

### I.3 Abstract

Since the first reports in Central America, a constant increase in the populations of the whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) has been reported. In Nicaragua the *B. tabaci*, is actually considered as the most important virus vector in agriculture. The present study aims to obtaining a panorama of the knowledge and management of *B. tabaci* in 278 horticultural farmers of northern Nicaragua. Surveys included: social and economic aspects, geographical position, crop systems, environmental factors, economic impact, management and causes of *B. tabaci* outbreaks. Ninety eight percent of those interviewed knew the adult of *B. tabaci*, but did not linked virus symptoms to the vector. Similarly 44, 17 and 10% stated that they lost 25, 50 and 75% of the tomato crop due to the *B. tabaci*, while 47% of them have abandoned the crop at least once. Recommendations about which treatment to use came from technicians (57%), farmers (29%) and pesticide sellers (7%). In relation to type of insecticide used, 38% of farmers used methamidophos, imidacloroprid (28%), cypermetrin (14%), deltametrin (7%), malathion (3,5%) and thiocyclam (1%). Except farmers who used imidacloroprid, deltametrin and thiocyclam, the rest (64%) used insecticides with low or null control on *B. tabaci* populations. For a population of about 3000 producers, the error calculated of the study was 6%.

**Key words:** *Bemisia tabaci*, Farmers, Insect pest management, Nicaragua, Whitefly.

#### I.4 Introducción

Desde los primeros reportes centroamericanos sobre la presencia de la mosca blanca, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) en la década de los 60 (Kraemer 1966), esta plaga no ha cesado de incrementar sus poblaciones, convirtiéndose en la limitante productiva de por lo menos 26 cultivos (Hilje 2001). En América tropical, el manejo de *B. tabaci* se ha visto dificultado por su amplio ámbito de hospedantes, por lo menos 500 plantas hospederas (Maes 2000, Greathead 1986). Esta situación se ve agravada por la capacidad de *B. tabaci* de transmitir varios grupos de virus, tales como: potyvirus, comovirus, potexvirus, geminivirus (Maes 2000); carlavirus, luteovirus, nepovirus, geminivirus y closterovirus (Brown 1994), siendo los geminivirus el principal grupo viral causante de pérdidas, debido a su rápida diseminación a través del floema de la planta (Hilje 1996). La magnitud de las pérdidas alcanzadas por este insecto, llevo a que se conformara a inicios de la década de los 90, la Comisión Nacional de Mosca Blanca, con el objeto de aglutinar esfuerzos contra esta plaga (Solórzano *et al.* 2001). Actualmente, en Nicaragua, no existe un programa formal que trabaje en el manejo de la mosca blanca, sin embargo el programa CATIE-MIP/AF (NORAD) y el Grupo Interinstitucional e Interdisciplinario de sistemas hortícola (GIISH) vienen generando y promoviendo estrategias de manejo para el complejo mosca blanca-geminivirus. No obstante, en encuentros realizados con extensionistas y productores durante los ciclos productivos 1999-2000 y 2000-2001 se informa que la mosca blanca sigue siendo el problema más importante en los cultivos de tomate, chile dulce, frijol y cucurbitáceas (CATIE-MIP/AF NORAD 2000; Encuentro Nacional Hortícola 2001).

El entendimiento entre las relaciones vector, geminivirus y huésped, es necesario para conceptualizar prácticas efectivas de manejo, asimismo, es importante conocer el ambiente físico y los conocimientos de tecnologías endógenas que posee el agricultor al momento de definir ensayos, si estos se realizan bajo un modelo de investigación horizontal (Andrews 1989).

Al cumplirse, 14 años de los esfuerzos emprendidos y en ausencia de información sobre los cambios inducidos en los productores, hemos querido obtener un panorama actualizado de los conocimientos y manejo de *B. tabaci* con el objeto de priorizar acciones para el manejo de esta plaga en el trópico seco nicaragüense.

### I.5 Metodología

El presente trabajo proviene del análisis de 278 encuestas de un total de 294 realizadas en el año 2001 a productores hortícolas del norte nicaragüense. La encuesta fue parte de la primera fase del proyecto de investigación de mosca blanca para el trópico seco nicaragüense, coordinado por el Centro de Investigación en Protección Vegetal (CIPROV) perteneciente a la Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí, en Nicaragua y la Université du Québec à Montréal, en Canadá.

#### Participantes

La encuesta fue dirigida a productores hortícolas y de granos básicos situados en los cinco departamentos de la región norte nicaragüense (Estelí, Jinotega, Nueva Segovia, Madriz y Matagalpa), región caracterizada como trópico seco, con una precipitación anual de 800 mm. y una temperatura promedio de 27 °C.

En el estudio participaron principalmente pequeños productores dueños de finca que cultivan frijol y maíz para autoconsumo y chile dulce y tomate para comercio. La totalidad de los encuestados se encontraban en zonas asistidas por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales de desarrollo rural y asistencia técnica.

#### Metodología de la encuesta

La encuesta se basó fundamentalmente en el cuestionario propuesto por el proyecto PROVAL-MIP, Mosca Blanca CIAT (Colombia). Las preguntas contemplaron aspectos socio-económicos, posición geográfica, sistemas de cultivo,

factores ambientales, factores económicos, manejo y causas del incremento de *B. tabaci*.

Como primer paso se procedió a capacitar estudiantes de la Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí y a asistentes de investigación del CIPROV en el uso y llenado de la encuesta.

El trabajo de campo se realizó entrevistando al productor en su propia finca. Los datos se obtuvieron por medio de respuestas directas y conversaciones informales. Con el fin de lograr una mayor confianza y aceptación con el entrevistado, cada encuestador se limitó a visitar entre dos a seis productores conocidos.

La información fue recopilada y ordenada de acuerdo a las variables del estudio. Para cada una de las variables, se procedió a calcular sus frecuencias y porcentajes.

El margen de error calculado fue basado en una población estimada en la región de 3000 productores hortícola.

## I.6 Resultados y discusión

Durante los cuatro meses que duró la recolección de datos, se entrevistó un total de 294 agricultores, repartidos en cinco departamentos, 36 municipios y 127 comunidades.

El margen de error calculado del estudio fue de 6 %.

*Caracterización de los entrevistados:* El 64% de los encuestados habitan en los municipios: Estelí (23%), Jinotega (13%), Condega (7%), Pueblo Nuevo (6,5%), San Juan de Limay (5%), Matagalpa (5%) y Quilali (4,5%). La distribución estuvo influenciada por tres aspectos: origen del encuestador, accesibilidad y vocación hortícola del productor.

El 95% de los encuestados fueron hombres, de los cuales en su gran mayoría (82%), eran propietarios que tenían más de dos años trabajando en la misma finca. El 40% de los encuestados dedica la mayor área al cultivo de tomate, mientras que para el 16%, es su segunda opción. El 35% de los entrevistados dedica mayor superficie al cultivo de frijol mientras que para el 30% estaba en segundo lugar. El 4% eran productores de chile dulce y el 8% lo cultivaba detrás del frijol o maíz. La alta frecuencia de hombres con respecto a mujeres entrevistadas fue debido a que el estudio se dirigió a productores de parcelas hortícola con fines comerciales, siendo en la familia campesina, el manejo de estas parcelas un papel preferentemente masculino.

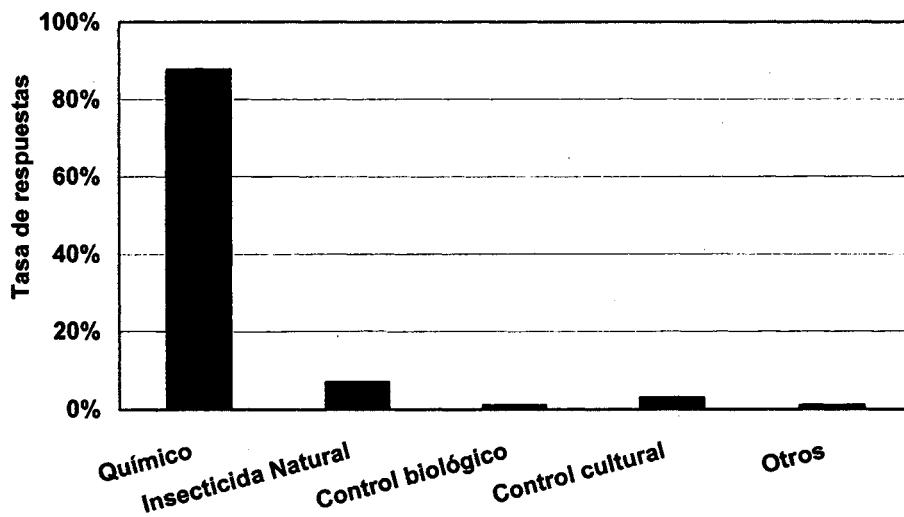
*Conocimiento de la problemática mosca blanca-geminivirus:* El 98% de los encuestados afirmaron conocer el adulto de *B. tabaci*, mientras que los síntomas de virosis tales como: mosaico dorado del frijol, achaparramiento, crespo y enrollamiento del tomate y chile dulce no lo relacionaron claramente con el vector. Para el 92, 71 y 47% de los productores de tomate, frijol y chile dulce respectivamente, *B. tabaci* es la principal plaga. El 44, 17 y 10% de los productores mencionaron perder periódicamente el 25, 50 y 75% de la cosecha respectivamente, mientras que el 47% afirmó haber abandonado, por lo menos una vez, el cultivo por causa de *B. tabaci*. La capacidad para identificar la mosca blanca es innegable, no obstante pocos son los productores que pueden diferenciar claramente los síntomas virales con los de una fungosis o una bacteriosis, lo cual impide una precisa y adecuada comprensión del problema por parte del productor.

El 28% de los entrevistados afirmaron que las altas poblaciones de *B. tabaci* aparecen al inicio de la época lluviosa (entre abril y junio), datos que coinciden con los obtenidos por Nunes (2002), mientras que el 27% señalaron que los mayores ataques se presentan entre los meses de agosto y octubre (época lluviosa). El 13% manifestó que *B. tabaci* se mantiene omnipresente a lo largo del año, mientras que el resto (32%), afirmó que las poblaciones se incrementan durante la época seca (entre

noviembre y marzo). Es comprensible que los productores mencionen el periodo de altas poblaciones de mosca blanca en función de la época de siembra de sus cultivos; pocos son los productores que poseen sistemas de riego que les permita poder sembrar a lo largo del año y tener una mejor apreciación de las fluctuaciones anuales de mosca blanca. No obstante, el 92% de los entrevistados relacionó el clima con altas poblaciones de *B. tabaci*, siendo la sequía la respuesta más recurrente (30%), seguido por cambios climáticos (15%) y mucha lluvia (8%). Un alto número de productores afirmó que la principal causa de aparición y auge de *B. tabaci* son las sequías. Esta apreciación va en la misma dirección de los trabajos publicados por Hilje (1995), Gerling *et al* (1986) y Bogran *et al.* (1998), que mencionan la precipitación como un factor de mortalidad de *B. tabaci*.

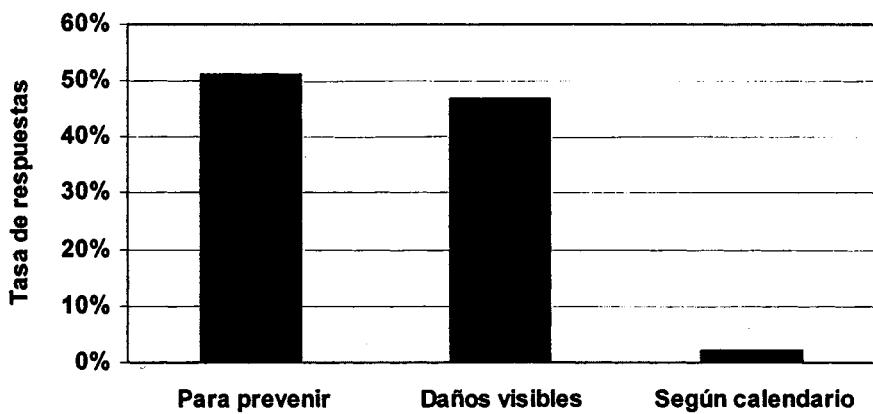
Es notorio que tan solo cinco, de los 278 agricultores entrevistados, asocia el problema de *B. tabaci* a su resistencia a los insecticidas, tres a la falta de conocimientos, uno a no muestrear la plaga y otro a la presencia de plantas hospederas, cuatro aspectos importantes a ser considerados en el manejo integrado de plagas.

*Manejo del complejo B. tabaci-geminivirus:* El 87% de los productores indicó utilizar el control químico, mientras que el 7% afirmó utilizar insecticidas naturales tales como nim (*Azadirachta indica* Adr. Juss.) y mezclas caseras, el 3% dijo realizar rotación de cultivos y eliminación de plantas enfermas (control con prácticas agrícolas) y el 1% manifestó controlar biológicamente *B. tabaci* con *Bacillus thuringiensis* (Berliner) (Fig. 1).



**Figura 1.** Métodos de control utilizados contra *Bemisia tabaci*.

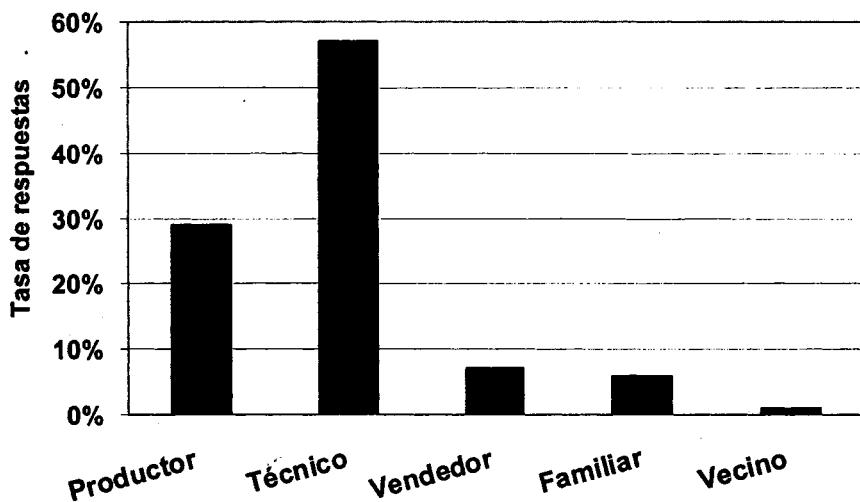
Nueve de cada diez agricultores utilizan insecticidas sintéticos, realizando diferentes rangos de aplicaciones por ciclo de cultivo, siendo el más frecuente entre 3 a 5 (55%), entre 6 a 7 (15%) y entre 8 a 10 (28%) de los entrevistados. Las recomendaciones sobre cuando aplicar el insecticida provienen en un 60% del técnico, del mismo productor (31%) y del vendedor (8%). El 51,5% aplicó insecticidas en forma preventiva, mientras que el 47% afirmó que fumiga cuando los daños se hacen visibles (síntomas de virosis), período en el cual el control químico carece de eficacia (Fig. 2).



**Figura 2.** Motivo por el cual los agricultores hortícolas aplican insecticida contra *Bemisia tabaci*.

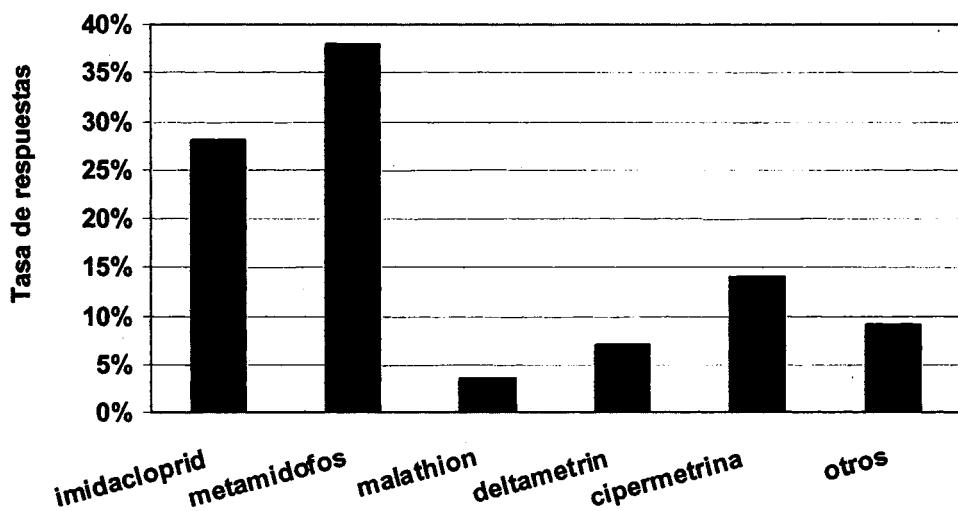
El criterio preventivo de las aplicaciones de insecticidas puede parecer irracional, a primera vista; pero tiene lógica si se considera la preocupación del productor frente a un vector viral que ataca en las primeras semanas de la emergencia de la plántula.

Las recomendaciones sobre el insecticida a utilizar provienen del técnico (57%), del mismo productor (29%) y del vendedor (7%) (Fig. 3), mientras que el 74% de los encuestados deciden cuando y cuánto aplicar.



**Figura 3.** Origen de las recomendaciones sobre el control químico *Bemisia tabaci*.

Es interesante observar que la decisión sobre el insecticida a utilizar es tomada en un 57% de los entrevistados siguiendo la recomendación del técnico. Aparentemente, la conducta del agricultor para elegir el producto químico depende en más de la mitad de los agricultores del conocimiento y criterio técnico. El 41,5% de los agricultores utiliza Organofosforados (methamidophos y malathion), el 28% Nitroguanidinas (imidacloroprid), el 21% Piretroides sintéticos (cypermrina y deltametrina), y el 1% Nereistoxina (tiocyclam) (Fig. 4). Con excepción de los usuarios de imidacloroprid, deltametrina y tiocyclam, el resto (64%) utiliza insecticidas de baja o nula acción contra *B. tabaci*.



**Figura 4.** Insecticidas utilizados contra *Bemisia tabaci*.

Es probable que el mayor uso de insecticidas organofosforados (metamidofos y malathion) se deba más a la costumbre y al precio relativamente bajo, que a su efectividad. Varios son los productores que manifestaron que los insecticidas Organofosforados y Piretroides sintéticos no matan a *B. tabaci*. La habilidad de *B. tabaci* a desarrollar resistencia a los insecticidas ya ha sido ampliamente demostrada (Prabhaker *et al.* 1985, Dittrich y Ernst 1990, Horowitz y Ishaaya 1996).

Es notorio que el esfuerzo emprendido en capacitar y validar tecnologías para el manejo de *B. tabaci* no logró generar cambios significativos en los productores y técnicos del norte nicaragüense. El uso masivo de insecticidas sintéticos, aunque sea de poca efectividad, sigue siendo el único insumo que brinda a los productores cierta garantía, aunque esta sea en la mitad de los productores, aparente. Varias pueden ser las causas; a nuestro criterio, la ausencia de un sistema de manejo eficaz durante el proceso de capacitación y validación fue un aspecto que pudo haber impedido la adopción de cambios.

En Nicaragua, como en el resto de América Latina el estado está reduciendo su papel como principal agente de transferencia de tecnología, mientras que las agencias internacionales de desarrollo, organizaciones privadas y ONGs están asumiendo este rol (Hruska 1994).

Dentro de este contexto, el modelo vertical de flujo de iniciativa y responsabilidad (de científico a técnico y de técnico a agricultor) está siendo remplazado por el modelo horizontal (de agricultor a agricultor apoyado por técnicos), modelo más apropiado a las condiciones socioeconómicas de Nicaragua. No obstante, Andrews (1989) considera que este modelo puede presentar desventajas en presencia de una nueva plaga, como ha sido el caso de *B. tabaci*, donde los agricultores no están en capacidad de enfrentarla, no existen técnicas endógenas de manejo, pero si están altamente motivados para adoptar tecnologías que ayuden a resolver su problema.

Durante la década de los 90, los productores nicaragüenses y en especial los del trópico seco, estaban soportando brotes poblacionales desmesurados de *B. tabaci* (Ing. Luis Dicovskiy 2001, EAGE, com. pers.). Es probable que durante esos años, muchos de los métodos de control propuestos hayan fracasado debido a los aspectos antes mencionados y a que *B. tabaci* se encontraba en su fase explosiva, proceso común que acontece al establecimiento de una especie invasora, haciendo que sus poblaciones no puedan ser controladas ni siquiera con métodos sofisticados de manejo (Gerling 2002). Una vez pasado los primeros años, las altas poblaciones tienden a estabilizarse, siendo el momento propicio para la validación de tecnologías de manejo con productores. Es posible que los brotes actuales de *B. tabaci* en Nicaragua se estén “estabilizando”, haciendo que sea hoy, junto a la experiencia y los conocimientos obtenidos hasta la fecha, el momento propicio para reemprender esfuerzos en el desarrollo de alternativas de manejo sobre esta importante plaga.

## I.7 Agradecimientos

Los autores agradecen a los estudiantes de la Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí por su colaboración en la toma de datos. Igualmente se agradece a la Dra. Pamela Anderson, M.Sc. Luís E. Dicovskiy, Lic. Lilliam Lezama e Ing. Nora Fiallos por su colaboración. Finalmente se agradecen los comentarios de dos anónimos revisores y al proyecto OXFAM-Québec-EAGE.

## I.8 Literatura citada

- Andrews, K. 1989. Modelos de investigación y transferencia de tecnología en manejo integrado de plagas. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* **13**, 65-82.
- CATIE-MIP/AF (NORAD). 2000. Informe de las actividades y resultados del ciclo 1999-2000 en la región de Las Segovias. Septiembre 2000.
- Bogran, CE; Obrycki, JJ; Cave, R. 1998. Assement of biological control of *Bemisia tabaci* (homoptera: Aleyrodidae) on common bean in Honduras. *Florida Entomologist*. **81**, 384-393.
- Brown, JK. 1994. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide. *FAO Plant Protection Bulletin* **42**, (1-2): 3-32.
- Dittrich, V; Ernst, SGH. 1990. Chemical control and insecticide resistance of whiteflies. pp. 263-285. In: D. Gerling (ed.) Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. Intercept Ltd., Andover, UK.

Encuentro Nacional Hortícola 2001. Encuesta a técnicos extensionistas hortícolas 2001. Nicaragua, 15 y 16 de marzo del 2001.

Gerling, D; Horowitz, AR; Baumgaertner, J. 1986. Autoecology of *Bemisia tabaci*. Agriculture, *Ecosystems and Environment* 17, 5-19.

Gerling, D 2002. Una reinterpretación sobre las moscas blancas. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 63, 13-21.

Greathead, AH. 1986, Host plants. In *Bemisia tabaci* a Literature survey, MJW. Cock. (ed.) CAB Intl. Inst. Biol. Control. Silwood Park. UK. p 17-26.

Hilje, L.1995. Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 35, 46-54.

Hilje, L.1996. Metodología para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Turrialba, Costa Rica. CATIE. Unidad de Fitoprotección. 150 p.

Hilje, L. 2001. Aspectos bioecológicos y epidemiológicos claves para el manejo del complejo mosca blanca-geminivirus. In VI Taller Nacional Hortícola, Santa Cruz, Estelí, Nicaragua, 3-6 de julio. 10 p.

Horowitz, AR; Ishaaya, I. 1996. Chemical control of *Bemisia*-Management and applications. In. *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management. D. Gerling and R.T. Mayer (eds.). Intercept, United Kingdom. p. 537-556.

Hruska, AJ. 1994. Nuevos temas en la transferencia de tecnologías de Manejo Integrado de plagas para productores de bajos recursos. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* **32**, 36-43.

Kraemer, P. 1966. Serious increase of cotton whitefly and virus transmission in Central America. *Journal of Economic Entomology*. **59**, 15-31.

Maes, 2000. Insectos asociados con cultivos tropicales, (ed.), Museo Entomológico de León, Nicaragua, versión CD-ROM.

Nunes, C. 2002. Importancia de factores bióticos y abióticos en la fluctuación poblacional de la mosca blanca (Homoptera: Aleyrodidae). In Memorias, 6to. Congreso Nacional de Manejo Integrado de Plagas, Managua, Nicaragua. p.43.

Prabhaker, N; Coudriet, DL; Meyerdirk, DE. 1985. Insecticide resistance in the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae). *Annals of Applied Biology*. **3**, 664-671.

Solórzano, MZ; Padilla, CD; Sediles, A; Monterrey J; Castillo, P. 2001. Informe Nacional de Nicaragua sobre mosca blanca. *In* resúmenes, IV Seminario Científico Internacional de Sanidad Vegetal, Cuba. p. 190-197.

## **CHAPITRE II**

**PARASITISME DE *BEMISIA TABACI* (HOMOPTERA.: ALEYRODIDAE)  
EN CULTURES MARAÎCHÈRES EN TROPIQUE SEC NICARAGUAYEN.**

## II.1 Résumé

Le parasitisme de la mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius) a été évalué en zone tropicale sèche nicaraguayenne dans trois cultures maraîchères: tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber) et poivron (*Capsicum annuum* L.). L'objectif du travail était d'identifier les parasitoïdes natifs de *B. tabaci* et d'évaluer les taux de parasitisme apparent. L'étude a été réalisée durant la saison des pluies ainsi qu'au début de la saison sèche. Le nombre de larves de *B. tabaci* par feuille était compté hebdomadairement. Durant la saison pluvieuse, les parasitoïdes prédominants en cultures de courges et de tomates étaient *Encarsia pergandiella* Howard et *E. nigricephala* Dozier. Les taux moyens de parasitisme étaient de 17 et 10% pour les cultures de courges et de tomates, respectivement. Sur poivron, les espèces rencontrées étaient *E. pergandiella*, *E. nigricephala*, *E. desantisi* Viggiani et *Amitus* sp. avec un taux global de parasitisme de 12%. Durant la saison sèche, les parasitoïdes sur courge étaient *E. pergandiella* et *E. nigricephala*, avec un taux de parasitisme de 57%. Sur tomate *E. pergandiella* était la seule espèce responsable d'un taux de parasitisme de 58%, tandis que pour le poivron, les espèces étaient *E. pergandiella* et *E. nigricephala*, avec un parasitisme de 42%. Le nombre de parasitoïdes est resté stable durant les deux saisons d'échantillonnage. Nos résultats suggèrent que le taux de parasitisme apparent est indépendant de la densité de *B. tabaci*. C'est la première mention de la présence de *E. pergandiella*, *E. nigricephala*, *E. desantisi* et *Amitus* sp. parasitant *B. tabaci* au Nicaragua.

**Mots Clés:** *Bemisia*, mouche blanche, parasitoïde, lutte biologique, Nicaragua, tomate, courge, poivron, *Encarsia* spp., *Amitus* sp.

## II.2 Summary

The parasitism of *Bemisia tabaci* (Gennadius) was evaluated on three horticultural crops in the Nicaraguan dry tropic: tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill), squash (*Cucurbita argyrosperma* Huber) and sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Specifically, we identified parasitoids species and recorded their abundance on the three crops. The study was carried out during both the rainy and the dry season. Weekly, the nymphs of *B. tabaci* were counted and parasitism was evaluated. During the rainy season the predominant parasitoids in squash and tomato crop were *Encarsia pergandiella* Howard and *E. nigricephala* Dozier. We have observed a rate of parasitism of 17 and 10%, respectively for the squash and tomato. In the sweet pepper crop the species were *E. pergandiella*, *E. nigricephala*, *E. desantisi* Viggiani and *Amitus* sp. with a rate of parasitism of 12%. During the dry season we found *E. pergandiella* and *E. nigricephala* in squash crop with a rate of parasitism of 57%. In the tomato, *E. pergandiella* was the only species with a parasitism rate of 58%, and in sweet pepper the species were *E. pergandiella* and *E. nigricephala*, with a 42% of parasitism. The abundance of parasitoids remained stable during both sampling seasons. Our results suggest that the rate of parasitism is independent of *B. tabaci* densities. This is the first mention of the presence of *E. pergandiella*, *E. nigricephala*, *E. desantisi* and *Amitus* sp. parasitoids of *B. tabaci* in Nicaragua.

**Key Words:** *Bemisia*, whitefly, parasitoid, biological control, Nicaragua, tomato, squash, sweet pepper, *Encarsia* spp., *Amitus* sp.

### II.3 Introduction

La mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera : Aleyrodidae) Biotype B [= *Bemisia argentifolii* Bellows et Perring], est le ravageur polyphage le plus important des régions tropicales et subtropicales de la planète (Brown et al. 1995). À partir des années 90, *B. tabaci* est devenu le principal ravageur des cultures d'Amérique centrale. Son importance socio-économique a été accentuée par l'introduction de cultures maraîchères de haute valeur dans les plaines et vallées nicaraguayennes, telle la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), la courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber) et le poivron (*Capsicum annuum* L.). Ces cultures sont très susceptibles aux altérations phytotoxiques (Perring 1996) ainsi qu'aux virus transmis par la mouche blanche, notamment les geminivirus (Markham et al. 1996; Maes 2000). Dans le cas particulier du Nicaragua, les pertes de récoltes associées à la mouche blanche sont considérables de l'ordre de 30 et 100 % (INTA 1999).

Afin d'élaborer des programmes de lutte intégrée contre les ravageurs, et ce, plus particulièrement dans les régions tropicales, il s'avère nécessaire de connaître l'impact des ennemis naturels natifs sur les populations du ravageur ciblé (Greathead 1991).

De nombreux ennemis naturels de *Bemisia* ont été cités (Hoelmer et al. 1999); cependant, l'information disponible en ce qui concerne leur présence en Amérique Centrale est limitée. Seuls trois travaux mentionnent des parasitoïdes de *B. tabaci*: Schuster et al. (1998) citent, dans une étude de reconnaissance effectuée en Floride, dans les Caraïbes, en Amérique centrale et du Sud, *Encarsia pergandiella* Howard, *E. nigriceps* Dozier, (Hymenoptera : Aphelinidae : Coccophaginae) et *Eretmocerus* sp. (Hymenoptera : Aphelinidae : Aphelininae) comme étant les parasitoïdes les plus abondants; Bográn et al. (1998) mentionnent *E. nigriceps*, *E. pergandiella*, *E. hispida* De Santis, *E. luteola* Howard et *Eretmocerus* sp. sur larves de *B. tabaci* attaquant les cultures de haricots au Honduras, tandis que Smith et al. (2000) rapportent la présence de *E. pergandiella* et *Eretmocerus* sp. parasitant *Trialeurodes*

*vaporariorum* (Westwood) et *B. tabaci* à l'est du Guatemala. Au Nicaragua, aucune étude portant sur les parasitoïdes de *B. tabaci* n'a été réalisée jusqu'à présent.

L'objectif de ce travail était donc d'une part d'établir les niveaux d'infestation de *B. tabaci* sur les cultures de courge, tomate et poivron, et d'autre part de caractériser la guilde des parasitoïdes de *B. tabaci* en zone tropicale sèche nicaraguayenne ainsi que les niveaux de parasitisme, en vue de l'élaboration d'un programme de lutte contre cet important ravageur.

#### II.4 Méthodologie

Les échantillonnages ont été réalisés entre mai 2001 et février 2002 dans trois cultures maraîchères: tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber) et poivron (*Capsicum annuum* L.).

Des cultures de tomates, de poivrons et de courges ont été établies en champ entre les mois de mai et août (saison pluvieuse), ainsi qu'entre les mois de novembre et février (saison sèche). Les parcelles, exemptes d'insecticides et d'une superficie de 400 m<sup>2</sup> chacune, étaient localisées en Estelí, région classée en zone tropicale sèche, présentant une précipitation annuelle moyenne de 800 mm. et une température moyenne de 27° C.

*Prise de données* : des échantillonnages hebdomadaires ont été effectués à partir de la sixième semaine de développement pour la culture de courge et de la septième pour les cultures de tomate et poivron. Chaque semaine, une feuille prise au hasard à la base du tiers supérieur de 32 plantes, elles mêmes retenues de façon aléatoire, était récoltée dans chaque culture.

Afin de connaître les niveaux d'infestation de *B. tabaci*, le nombre de larves par feuille a été comptabilisé sous loupe binoculaire (60X). Les niveaux d'infestations ont été classés selon les paramètres établis par Gerling (1985): Bas = 1 à 5 larves/feuille, Moyen = 6 à 20 larves/feuille et Élevé = 21 larves/feuille et plus.

Les larves de fin de troisième et quatrième stade de développement « prépupes et pupes » dénombrées ont été isolées dans des boîtes de Pétri en attendant l'émergence soit des adultes soit des parasitoïdes.

Les parasitoïdes ont été identifiés jusqu'à l'espèce à l'aide de la clé de détermination proposée par Polaszek et al. (1992) et du manuel de reconnaissance des parasitoïdes de ravageurs agricoles de Cave (1995). Les spécimens collectés se trouvent dans la collection de référence du laboratoire d'entomologie du « Centro de Investigación en Protección Vegetal (CIPROV) », appartenant à « l'Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco (UCATSE) », Estelí, Nicaragua. Les données sur la présence d'espèces de parasitoïdes ont été analysés par de tests de Fisher et les taux de parasitisme par des tests de G, à l'aide du programme SAS JMP IN version 5.1.2, (2003).

## II.5 Résultats et discussion

*Niveau d'infestation durant la saison pluvieuse.* Au début de l'échantillonnage, les niveaux d'infestation par *B. tabaci* étaient élevés sur plants de courge; cependant ils ont chuté à compter de la troisième semaine d'échantillonnage (Tableau I). Un patron similaire de fluctuation est observé dans les cultures de tomates et de poivrons lors de la même saison, les niveaux d'infestation de moyens à élevés au début de l'échantillonnage diminuent par la suite, n'atteignant que une à cinq larves par feuille (Tableaux II et III).

La diminution du nombre de larves par feuille à partir de la troisième semaine d'échantillonnage peut être due au vieillissement des plantes qui aurait entraîné la migration des mouches blanches vers d'autres plantes-hôtes. En effet, le principal facteur limitant la croissance des populations de *B. tabaci* dans les cultures annuelles est le changement constant de qualité nutritive des plantes, obligeant l'adulte à se déplacer des plants sénescents vers d'autres plants-hôtes plus jeunes et plus vigoureux (Gerling 2002). Dans le même sens, Van Lenteren et Noldus (1990) ont

constaté la préférence de la mouche blanche à se nourrir et pondre sur de jeunes feuilles, riches en sucres et en azote.

**Tableau I.** Niveau d'infestation et parasitisme de *B. tabaci* (larves à la fin des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> stade « pupes ») en culture de courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber), en zone tropicale sèche nicaraguayenne, 2001-2002.

Date de collecte	<i>B. tabaci</i>			Parasitisme							
	Niveau d'infestation (1)	No. total de pupes	No.	<i>E. pergandiella</i>	No.	%	<i>E. nigriceps</i>	No.	%	<i>Encarsia</i> spp.	Taux total de parasitisme
Saison pluvieuse											
16/05/2001	Elevé	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23/05/2001	Elevé	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/05/2001	Moyen	50	1	2.0	7	14.0	0	0	0	16.0	
06/06/2001	Bas	65	6	9.2	1	1.5	1	1.5	1.5	12.2	
13/06/2001	Bas	7	2	28.6	0	0	0	0	0	28.6	
20/06/2001	Bas	24	5	20.8	0	0	3	12.5	12.5	33.3	
27/06/2001	Bas	8	1	12.5	0	0	0	0	0	12.5	
04/07/2001	Bas	14	6	42.8	0	0	0	0	0	42.8	
11/07/2001	Bas	15	1	6.7	0	0	0	0	0	6.7	
Saison sèche											
29/12/2001	Bas	1	1	100.0	0	0	0	0	0	100.0	
19/01/2002	Bas	1	1	100.0	0	0	0	0	0	100.0	
02/02/2002	Bas	18	5	28.0	0	0	0	0	0	28.0	
08/02/2002	Moyen	49	9	18.4	2	4.0	0	0	0	22.4	
16/02/2002	Moyen	33	8	24.2	3	9	0	0	0	33.2	

(1) 1-5 larves/feuille = bas, 6-20 larves/feuille = moyen, 21 ≥ larves/feuille = élevé

**Tableau II.** Niveau d'infestation et parasitisme de *B. tabaci* (larves à la fin des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> stade « pupes ») en culture de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill), en zone tropicale sèche nicaraguayenne, 2001-2002.

Date de collecte	<i>B. tabaci</i>			Parasitisme			
	Niveau	No. total de	<i>E. pergandiella</i>	<i>E. nigricepsala</i>	Taux total de		
	d'infestation (1)	pupes	No.	%	No.	%	parasitisme
Première semence saison pluvieuse							
17/05/2001	Elevé	7	0	0	0	0	0
24/05/2001	Elevé	6	0	0	1	16.6	16.6
31/05/2001	Moyen	2	1	50.0	0	0	50.0
08/06/2001	Bas	21	2	9.5	0	0	9.5
15/06/2001	Bas	1	0	0	0	0	0
Deuxième semence saison pluvieuse							
09/08/2001	Moyen	7	1	14.3	0	0	14.3
16/08/2001	Elevé	1	0	0	0	0	0
23/08/2001	Elevé	39	1	2.6	4	10.2	12.8
30/08/2001	Elevé	21	0	0	0	0	0
06/09/2001	Elevé	15	0	0	0	0	0
Saison sèche							
15/01/2002	Bas	1	1	100.0	0	0	100.0
22/01/2002	Bas	2	2	100.0	0	0	100.0
29/01/2002	Bas	3	1	33.3	0	0	33.3
04/02/2002	Bas	3	0	0	0	0	0

(1) 1-5 larves/feuille = bas, 6-20 larves/feuille = moyen, 21 ≥ larves/feuille = élevé

**Tableau III.** Niveau d'infestation et parasitisme de *B. tabaci* (larves à la fin des 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> stade « pupes ») en culture de poivrons (*Capsicum annuum* L.), en zone tropicale sèche nicaraguayenne, 2001-2002.

Date de collecte	<i>B. tabaci</i>	Parasitisme										Taux total de parasitisme
		Niveau	No. total	<i>E. pergandiella</i>	<i>E. nigriceps</i>	<i>E. desantisi</i>	<i>Encarsia</i> spp.	<i>Amitus</i> sp.	No.	%	No.	
		d'infestation (1)	de pupes	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	
Saison pluvieuse												
29/05/2001	Moyen	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05/06/2001	Moyen	18	0	0	2	11.1	0	0	0	0	2	11.1
12/06/2001	Bas	77	3	3.9	1	1.3	1	1.3	0	0	3	3.9
19/06/2001	Bas	58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26/06/2001	Bas	41	0	0	1	2.4	0	0	0	0	1	2.4
03/07/2001	Bas	15	1	6.6	0	0	0	0	0	0	0	0
10/07/2001	Bas	14	1	7.1	0	0	0	0	0	0	0	7.1
17/07/2001	Bas	4	2	50.0	0	0	0	0	0	0	0	50.0
Saison sèche												
22/11/2001	Bas	1	0	0	0	0	0	0	1	100.0	0	0
06/12/2001	Bas	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13/12/2001	Bas	2	0	0	1	50.0	0	0	0	0	0	50.0
27/12/2001	Bas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/01/2002	Bas	1	1	100.0	0	0	0	0	0	0	0	100.0
24/01/2002	Bas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

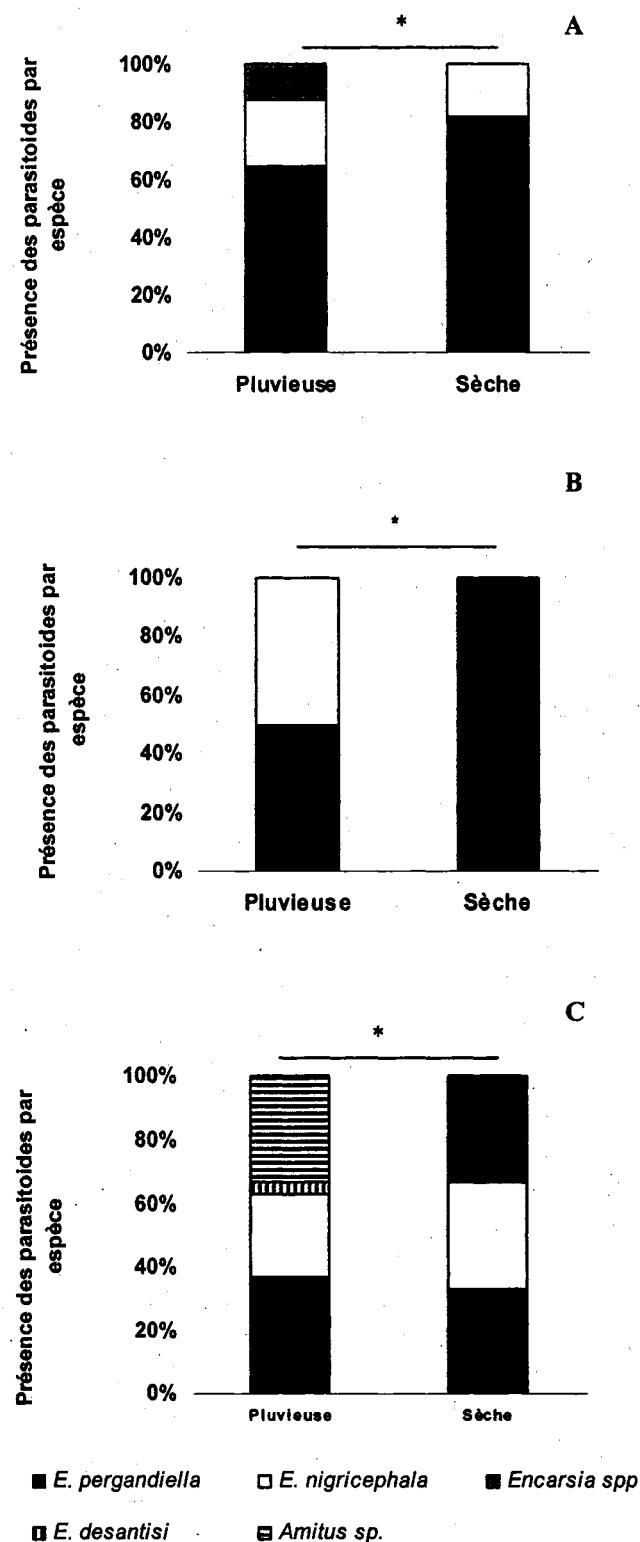
(1) 1-5 larves/feuille = bas, 6-20 larves/feuille = moyen, 21 ≥ larves/feuille = élevé

Les fortes précipitations observées durant la saison pluvieuse peuvent également, avoir contribué à la diminution de la densité de *B. tabaci*. Hilje (1995) suggère que les précipitations pourraient engendrer un déplacement mécanique (voire une chute) des adultes vers le sol, accroissant ainsi très probablement le taux de mortalité.

*Niveau d'infestation durant la saison sèche.* Contrairement à nos attentes, et en dépit d'une croissance de la densité de mouches blanches dans les parcelles de courges vers le milieu de la saison sèche, (en moyenne 7,89 larves/feuille) les niveaux d'infestation de *B. tabaci* durant cette saison sont demeurés bas, avec des moyennes inférieures à 5, 4 et 1 larves/feuille respectivement pour les cultures de courge, tomate et poivron (Tableaux I, II et III).

*Parasitisme de B. tabaci.* Les parasitoïdes font leur apparition à partir de la huitième semaine de développement végétal dans les trois cultures. Leur nombre durant la saison sèche est demeuré stable dans les parcelles de courge et tomate par rapport à la saison pluvieuse (Tableaux I et II). Les niveaux de population du ravageur étant restés assez bas, la pression de parasitisme augmente, ce qui se traduit par une augmentation significative des taux de parasitisme enregistrés dans les cultures de courge ( $G = 6,141; P = 0.0132$ ), tomate ( $G = 5,442; P = 0.0197$ ) et poivron ( $G = 2,338; P = 0.0326$ ) durant la saison sèche. (Tableaux I et II, Fig. 2). Bográn et al. (1998) ont noté le même phénomène dans des parcelles de haricots au Honduras : une croissance des taux de parasitisme en présence de populations de faible densité de mouches blanches. Il semblerait donc que les parasites impliqués ne soient pas densito-dépendants.

Dans nos observations, les deux parasitoïdes prédominants en cultures de courges et tomates ont été *E. pergandiella* et *E. nigriceps*, tout au long des deux saisons d'échantillonnage, excepté en culture de tomates durant la saison sèche où *E. pergandiella* était la seule espèce observée. En culture de poivron, on retrouvait, par ordre d'importance: *E. pergandiella*, *Amitus* sp. (probablement *Amitus fuscipennis* MacGown et Nebeker Hymenoptera: Platygastridae : Sceliotrachelinae), *E. nigriceps* et *E. desantisi* Viggiani (Fig. 1).

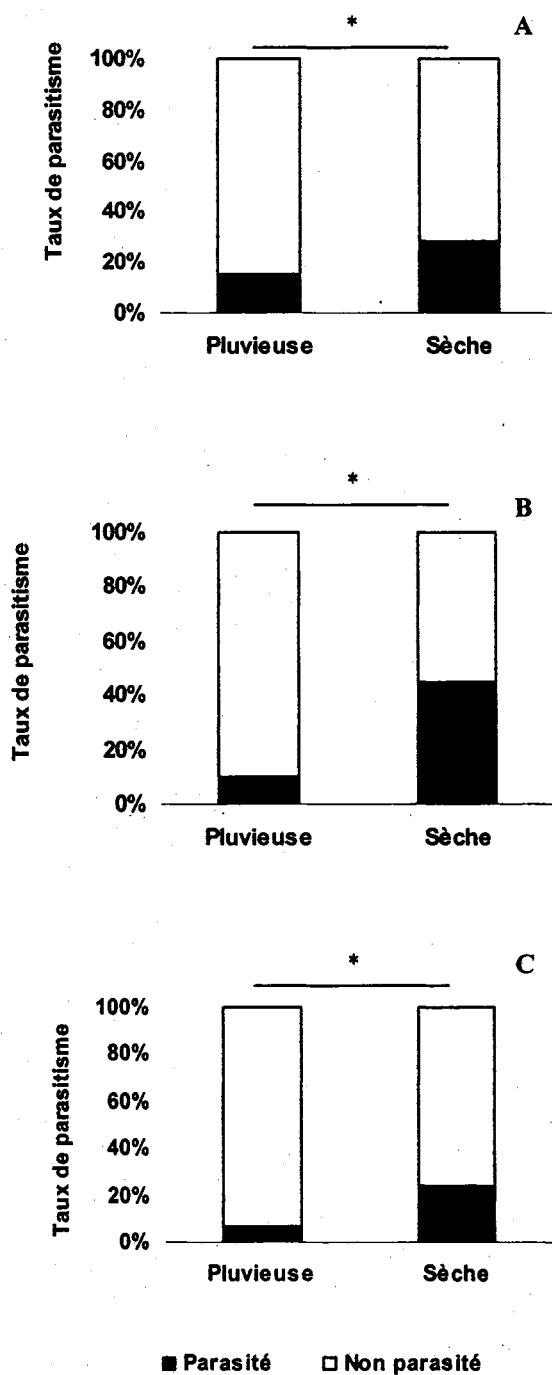


**Figure 1.** Répartition des différentes espèces de parasitoïdes de *Bemisia tabaci* présent durant les saisons sèche et pluvieuse en Esteli, Nicaragua. Sur A, courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber); B, tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill); C, poivron (*Capsicum annuum* L.).

*Encarsia pergandiella* et *E. nigricephala* ont été reportés aux États-Unis parasitant *Bemisia* sp. sur plants de coton (Riley et Ciomperlik 1997), patate douce *Ipomoea batatas* (L.) (Simmons 1998), cantaloupe, cornichon, tomate (Simmons et Jackson 2000) et sur arachide (McAuslane et al. 1994). Au Honduras, ces deux espèces ont été observées parasitant *Bemisia* sp. sur haricot (Bográn et al. 1998). Schuster et al. (1998) mentionnent également la présence de *E. pergandiella* et *E. nigricephala* dans les régions suivantes : Puerto Rico, République Dominicaine, Jamaïque, Grenade, Guadeloupe, Guatemala, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Mexique, Équateur, Colombie, Vénézuela et Brésil. *A. fuscipennis* parasite *T. vaporariorum* et *B. tabaci* en Colombie (Manzano et al. 2003). Au Guatemala, *A. fuscipennis* a été trouvé parasitant *B. tabaci* sur tomate durant la saison pluvieuse (Smith et al. 2001). Une seconde espèce, *Amitus bennetti* Viggiani et Evans, a aussi été observée parasitant *B. argentifolii* en Californie (Joyce et Bellows 2000) et en Martinique (Ryckewaert et Alauzet 2002). En ce qui concerne *E. desantisi*, il a été cité au Honduras, Costa Rica, Vénézuela et Brésil (Cave 1995).

*Encarsia pergandiella* et *E. nigricephala* sont les espèces de parasitoïdes natifs les plus importants de *B. tabaci* dans les cultures de courge, tomate et poivron en tropique sec nicaraguayan, suivis par *Amitus* sp. et *E. desantisi* en culture de poivron. Par ailleurs, l'abondance de *E. pergandiella* et *E. nigricephala* et le fait que leur distribution soit panaméricaine, en fait des agents de lutte biologique dont la présence doit être prise en considération.

Malgré une importante diminution de la densité de *B. tabaci* durant le début de la saison sèche, le niveau des populations des parasitoïdes demeures stables lors des saisons. Ce qui atteste de leur capacité à se maintenir quelles que soient les conditions environnementales. La diminution des populations de *B. tabaci* combinée à la stabilité des densités de parasitoïdes explique la monté significative des taux de parasitisme observée durant la saison sèche (Fig.2). La mise en champs de plantules durant le début de la saison sèche, devrait être considéré lors de l'élaboration de futurs programmes de lutte intégrée contre la mouche blanche au Nicaragua.



**Figure 2.** Taux de parasitisme de *Bemisia tabaci* durant la saison sèche et pluvieuse, Estelí, Nicaragua. A, courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber); B, tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.); C, poivron (*Capsicum annuum* L.).

## II.6 Remerciements

Nous remercions Mario L. Davila; Holman U. Mendoza; Wilmor B. Arauz; Marlon A. Castillo; Yader F. Gámez y Rider F. Rodríguez de la Escuela de Agricultura y Ganadería de Estelí, pour leur contribution durant la prise de données en champ, Domingos De Oliveira et l'équipe du laboratoire de lutte biologique de l'Université du Québec à Montréal pour la révision du manuscrit. Cette étude n'aurait pas été possible sans le support financier de Oxfam-Québec.

## II.7 Références

- Bográn C. A.; Obrycki J. et Cave R. (1998) Assessment of biological control of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on common bean in Honduras. *Florida Entomology*. **80**, 384-395.
- Brown J. K.; Frohlich D. R. et Rosell R. C. (1995) The sweetpotato or silverleaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annual Review of Entomology*. **40**, 511–534.
- Cave R. D. (ed.) (1995) Manual para el reconocimiento de parasitoïdes de plagas agrícolas en América Central. Zamorano, Honduras: Zamorano Academia Press 202 pp.
- Gerling D. (1985) Parasitoids attacking *Bemisia tabaci* (Hom. Aleyrodidae) in eastern Africa. *Entomophaga*. **30**, 163-165.
- Gerling D. (2002) Una reinterpretación sobre las moscas blancas. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)*. **63**, 13-21.
- Greathead D. (1991) Biological control in the tropics: present opportunities and future prospects. *Insect Science Applicata*. **12**, 3-8.

Hilje L. (1995) Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* **35**, 46-54.

Hoelmer, K. A.; Kira A. A. et Simmons G. S. (1999) An overview of natural enemy explorations and evaluations for *Bemisia* in the U.S. Pages 689-696, In Annals de l'Association Nationale pour la Protection des Plantes, 5th International Conference on animal Pests in Agriculture, Montpellier, France.

INTA (1999). Guia tecnologica 22. Cultivo del tomate. Departamento de servicios técnicos de apoyo (DSTA). Managua, nicaragua 55 pp.

Joyce A. L. et Bellows T. S. (2000) Field evaluation of *Amitus bennetti* (Hymenoptera: Platygasteridae), a parasitoid of *Bemisia argentifolii* (Hemiptera: Aleyrodidae), in cotton and bean. *BioControl*. **17**, 258-266.

Maes, J. M. (2000) Insectos asociados con cultivos tropicales (ed.) Museo entomológico de León, Nicaragua, versión CD-ROM.

Manzano M. R.; Van-lenteren J. C. et Cardona C. (2003) Influence of pesticide treatments on the dynamics of whiteflies and associated parasitoids in snap bean fields. *BioControl*. **48**, 685-693.

Markham P. G.; Bedford I. D.; Liu, S.; Frolich D. R.; Rosell R. et Brown J. K. (1996) The transmission of geminivirus by biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius), pp. 69-75. In *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management. D. Gerling and R.T. Mayer (eds.). Intercept, United Kingdom.

- McAuslane H. J.; Johnson F. A. et Knauft D. A. (1994) Population levels and parasitism of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) on peanut cultivars. *Environmental Entomology*. **23**, 1203-1210.
- Perring T. M. (1996) Biological differences of two species of *Bemisia* that contribute to adaptive advantage, pp. 1-16. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. D. Gerling and R.T. Mayer (eds.). Intercept, United Kingdom.
- Polaszec A.; Evans G. A. et Bennett (1992) *Encarsia* parasitoids of *Bemisia tabaci* (Hymenoptera: Aphelinidae, Homoptera: Aleyrodidae): a preliminary guide to identification. *Bulletin of Entomological Research* **82**, 375-392.
- Riley, D. G et Ciomperlik, M. A. (1997) Regional population dynamics of whitefly (Homoptera : Aleyrodidae) and associated parasitoids (Hymenoptera : Aphelinidae). *Environmental Entomology*. **26**, 1049-1055.
- Ryckewaert P. et Alauzet C. (2002) The natural enemies of *Bemisia argentifolii* in Martinique. *BioControl*. **47**, 115-126.
- SAS Institute (2003) JMP 5.1.2 statistical analysis software, for windows. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Schuster D. J.; Evans G. A.; Bennett F. D.; Stansly P. A.; Jansson R. K. et Leibee G. L. (1998) A survey of parasitoids of *Bemisia* spp. whiteflies in Florida, the Caribbean, and Central and South America. *International Journal of Pest Management*. **44**, 255-260.

Simmons A. M. (1998) Survey of the parasitoids of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) in coastal South Carolina using yellow sticky traps. *Journal of Entomological Science*. **33**, 7-14.

Simmons A. M. et Jackson D. M. (2000) Evaluation of foliar-applied insecticides on abundance of parasitoids of *Bemisia argentifolii* (Homoptera : Aleyroclidae) in vegetables. *Journal of Entomological Science*. **35**, 1-8.

Smith H. A; Evans G. A et Mcsorley R. (2000) A survey of parasitoids of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in eastern Guatemala. *Florida. Entomology*. **83**, 492-496.

Smith H. A.; Mcsorley R. et Izaguirre J. A. S. (2001) Effect of intercropping common bean with poor hosts and nonhosts on numbers of immature whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) in the Salama Valley, Guatemala. *Environmental. Entomology*. **30**, 89-100.

Van Lenteren, J. C. et Noldus L. P. J. J. (1990) Whitefly-plant relationships: Behavioural and ecological aspects, pp. 47-89 In *Whiteflies: Their bionomics, pest status and management*. D. Gerling (ed.) New Castle, UK. Athenaeum.

### **CHAPITRE III**

**ROLES OF TRICHOMES IN HOST USE BY *BEMISIA ARGENTIFOLII* AND  
THE BIOCONTROL AGENT *CHRYSOPERLA EXTERNA*: ARE THEY  
COMPATIBLE?**

### III.1 Résumé

La pubescence foliaire est reconnue comme une source potentielle de résistance contre plusieurs insectes herbivores, permettant à elle seule la réduction des applications d'insecticides. Toutefois sa compatibilité avec les agents de lutte biologique est mal connue. Cette étude cherche à déterminer le rôle de la pubescence foliaire dans le choix de ponte de la mouche blanche *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring sur trois plants hôtes: tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), courge (*Cucurbita argyrosperma* Huber) et poivron (*Capsicum annuum* L.), ainsi que l'effet de la pubescence sur la prédatation de *B. argentifolii* par le chrysope *Chrysoperla externa* (Hagen). Afin de caractériser l'efficacité prédatrice de *C. externa* sur deux types de feuilles (pubescent et glabre), nous avons mesuré: le temps alloué à la recherche, le nombre de proies rencontrées et le nombre de larves de *B. argentifolii* attaquées. *Bemisia argentifolii* pond sur les trois plantes hôtes, mais la courge (pubescence la plus élevée) a été significativement plus acceptée que le poivron et la tomate. Ceci indiquerait une préférence de *B. argentifolii* à pondre sur des surfaces pubescentes. Le temps alloué à la recherche des proies ne fut pas affecté par la présence des trichomes, mais les chrysopidés ont plus de difficulté à rencontrer les proies et à se nourrir sur des feuilles présentant une haute densité de trichomes. Nos données supportent l'hypothèse que la haute densité de trichomes fournit à *B. argentifolii* une zone libre d'ennemis naturels dû au fait que les larves sont significativement moins susceptibles à la prédatation sur ce type de surface.

**Mots clés:** *Lycopersicon esculentum*, *Cucurbita argyrosperma*, *Capsicum annuum*, *Bemisia argentifolii*, *Chrysoperla externa*, résistance, trichome.

### III.2 Summary

The culture of plant bearing leaf trichomes offers the potential to reduce pesticide use in agricultural crops. However, the compatibility of such trichomes with biocontrol agents is still largely unknown. In this study, the effect of plant trichomes density on the oviposition behaviour of the whitefly *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring was determined using three crop plants: tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill), squash (*Cucurbita argyrosperma* Huber) and sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Moreover, the effect of plant trichomes on *B. argentifolii* predation by the green lacewing *Chrysoperla externa* (Hagen) was investigated on two leaf surface types: pubescent and glabrous. *Bemisia argentifolii* oviposited on the three host plants, but the highly pubescent squash was significantly more accepted than the moderately pubescent tomato and the glabrous sweet pepper. The low oviposition rate on glabrous leaves indicates oviposition preference for pubescent plants. *Chrysoperla externa* spent the same time searching on glabrous and pubescent leaves. However, the encounter and feeding rates were lower on pubescent squash leaves. Our data support the hypothesis that high trichome density provides enemy-free space for *B. argentifolii* since whiteflies nymphs suffered significantly lower mortality from *C. externa* larvae on pubescent leaves.

**Key words:** *Lycopersicon esculentum*, *Cucurbita argyrosperma*, *Capsicum annuum*, *Bemisia argentifolii*, *Chrysoperla externa*, host plant resistance, trichome.

### III.3 Introduction

Price et al. (1980) hypothesized that the observed mechanisms of plant resistance to herbivores might be the result of a trade-off selecting for the benefits of antagonistic effects on herbivores while minimising the negative impacts on herbivore's natural enemies. Consistent with this hypothesis, several studies demonstrated negative impact of plant defences on the natural enemies of herbivores (Bergman and Tingey, 1979; Harde 1992, 2002; Bottrell et al., 1998; Cortesero et al., 2000). Often, plant traits such as allelochemistry, morphology, and phenology that confer resistance to plant pests may also adversely affect beneficial insects (Price, 1986; Gauld and Gaston, 1994).

Foliar pubescence occurs on a wide variety of plants and its role as a plant defensive mechanism has been demonstrated (Pillemer and Tingey, 1978; Tingey, 1981). Various trichome types influence insects in different ways. Downward pointing trichome may form a mechanical protection against crawling insects, and felted trichomes layers act as a physical barrier. Hooked trichomes entangle insects and glandular trichomes may trap insects and kill them with toxic fluids (Southwood 1986). These trichomes, especially glandular trichomes, contain several phytochemicals that are either toxic or deterrent to a wide variety of herbivorous insects (Dimock and Kennedy, 1983; Duffey, 1986; Goffreda et al., 1989; Neal et al., 1990; Buta et al., 1993; Severson et al., 1994; Yencho et al., 1994; Liedl et al., 1995; Liu et al., 1996).

The presence of trichomes may also detrimentally affect natural enemies by hindering their movement (Keller, 1987; Krips et al., 1999, Lucas et al., 2004). Moreover, this difficulty in locomotion can be increased by the presence of sticky exudate associated with many types of glandular trichomes (Elsey, 1974; Belcher and Thurston, 1982; Obrycki and Tauber, 1984). For example, *Encarsia formosa* (Gaham) is less efficient at attacking *Trialeurodes vaporariorum* Westwood on plants with trichomes (Hulsaps-Jordaan and van Lenteren, 1978; van Lenteren et al., 1987, 1995; de Ponti et al., 1988), due in part to reduced walking speed (van Lenteren and

de Ponti, 1990). *Eretmocerus eremicus* Rose and Zolnerowich walked more slowly on pubescent cantaloupe melons than glabrous cotton (Headrick et al., 1996). Arzet (1973) observed that the searching behavior of *C. carnea* was hindered by the glandular trichomes on tobacco. Equally, studies showed that the movement of *Coleomegilla maculata* (De Geer) and *C. carnea* larvae were inversely related to the density of trichomes on tobacco (Elsey, 1974).

On the other hand, trichomes may favour some natural enemies. For example, dense hairs provide hiding places for some predatory mites (Karban et al., 1995; Walter, 1996) and slow the walking speed of *E. formosa* on cucumber (*Cucumis sativus* L.), provoking an intensive research and a high host encounter rate (van Lenteren and de Ponti, 1990). Scopes (1969) observed that predation of *Aphis gossypii* Glover by chrysopid larvae *Chrysoperla carnea* (Stephens) is inhibited on hairless cucumber variety due to the lack of adhesion by the larval anal secretion to the pubescent leaf surface, which is used in locomotion.

Whiteflies of the genus *Bemisia* are serious pests of crops grown in the tropical and subtropical regions of the world. In America, the silverleaf whitefly *B. argentifolii* Bellows & Perring (also known as *B. tabaci*, biotype B) (Homoptera: Aleyrodidae) attacks several agricultural crops grown in the southern and western U.S. (Perring et al., 1993) and Central and South America (Greathead 1986, Hilje 2001). Direct damage is a consequence of feeding by adults and nymphs, while indirect damage is represented by the transmission of viruses known as geminiviruses (Brown and Bird, 1992; Brown, 1994), which have been the crop's most limiting factor in many producing regions (Schuster et al., 1990).

High level of pest resistance in plants has generally been associated with trichomes. However, contrasting results were obtained in studies with the whitefly, *B. argentifolii* (Snyder et al., 1998; Butler et al., 1986; McAuslane, 1996). Heinz and Zalom (1995) identified a positive correlation between densities of nonglandular leaf trichomes and ovipositions by *B. argentifolii* across 20 commercial cultivars of tomato. Similarly, highly pubescent cotton cultivars support larger populations of *B.*

*tabaci* than glabrous cultivars (Butler and Henneberry, 1984; Ozgur and Sekeroglu, 1986). This phenomenon may be a result of the strong preference exhibited by whitefly for laying its eggs at the base of leaf trichomes (Berlinger, 1986), which may be an evolutionary response to selection exerted by natural enemies: predators and parasitoids search efficiency decreases as trichome densities increase (Li et al., 1987).

A survey of *B. argentifolii* populations in Nicaragua identified natural enemy species on these herbivores. Most of the parasitism was attributed to *Encarsia pergandiella* Howard and *E. nigricepsala* Dozier (Hymenoptera: Aphelinidae) and predation by the lacewing *Chrysoperla externa* (Hagen) (Neuroptera: Chrysopidae) (Nunes et al. submitted).

For the whitefly predators *C. carnea*, *C. maculata*, *Delphastus pusillus* (LeConte) and *Delphastus catalinae* (Horn), it is known that variation in leaf hairiness on vegetables may strongly influence walking behavior and pattern (Scopes, 1969; Heinz and Zalom, 1996; Lucas et al., 2004) but information for *C. externa* (Hagen) is not yet available. If leaf hairiness has an important negative effect on *C. externa* activity (decrease searching time, encounter rate, and consumption rate), it could negatively affect the biological control of *B. argentifolii* by the lacewing.

Specifically, the two objectives of this study were: (1) to evaluate the impact of trichomes density on oviposition preference by *B. argentifolii* and (2) to determine the influence of trichomes on the whitefly predator *C. externa*.

### III.4 Material and Methods

The tests were conducted in the Entomology section of *Centro de Investigacion en Proteccion Vegetal* (CIPROV) in Estelí, Nicaragua in 2001/2003. The commercial genotypes of sweet pepper plant (*Capsicum annuum* L. cultivar. SWEET Agronomico), tomato plant (*Lycopersicon esculentum* Mill cultivar UC-82), and squash plant (*Cucurbita argyrosperma* Huber cultivar Criolla) were provided by agriculture commercial house.

The *B. tabaci* used in the experiments were obtained from a pool of whitefly individuals captured and raised in the entomology section of CIPROV. They were kept in cages (0.9 x 0.6 m at the bottom, and 0.6 m in height) made of a wooden frame and covered with anti-aphid screen and glass. The lacewing *C. externa* were obtained from rearing of *Centro de Investigacion y Reproduccion de Controladores Biologicos of the Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua* in Leon, Nicaragua.

#### *Trichome densities*

We measured trichome densities on leaves. Fully expanded young leaves were collected on glabrous sweet pepper plants, pubescents tomato and squash plants. We counted 25 leaves of each leaf type. Abaxial surfaces of each leaf was examined under a microscope (at 60 X magnification) to record the density of trichomes (number by  $\text{cm}^2$ ) of the leaf. Total trichomes were counted in a surface of  $6.25 \text{ mm}^2$ . The reading area was located near the main leaf vein and between the second and third adjacent veins, five times on each leaf. To estimate the total trichomes in a surface of one  $\text{cm}^2$ , the mean of five reading by leaf was multiplied by 16. The mean numbers of trichomes per plant were compared.

#### *Experiment 1: Oviposition selection by Bemisia argentifolii.*

Three desirable host plants by *Bemisia argentifolii* (sweet pepper, tomato and squash) were grown in three growth chambers, set with a 14-h day and a diurnal temperature range of 22–35°C. Relative humidity was unregulated and ranged between 40 and 100 %. In a completely randomized design, 56 plants of tomato and 56 plants of sweet pepper were introduced in the first growth chamber, 56 plants of tomato and 14 plants of squash in the second chamber, and 56 plants of sweet pepper and 14 plants of squash in last chamber. All plants were five weeks old. The difference in the number of plants introduced in the growth chambers is due to foliar surface of squash that was seven times superior to sweet pepper and tomato. Whiteflies were aspirated from tomato plants in the laboratory colony and 150

individuals were released by growth chambers. After 72 h access, the plants were removed from all chambers. For each growth chamber 28 samples by plant species were taken (each sample was a leaf of the superior third part of tomato and sweet pepper plants, and the fourth leaf from the tip of the stem of squash plants). A foliar surface of 2.5 cm<sup>2</sup> was excised from each leaf and the number of eggs laid on abaxial leaf surfaces was determined using a stereoscopic microscope. To test the oviposition preference among plants, data were compared with *t* test (SAS JMP IN version 5.1.2, 2003).

#### *Experiment 2: Predatory behavior of *C. externa*.*

Both *Chrysoperla externa* and *B. argentifolii* individuals used in this experiment came from laboratory cultures. Only fourth instars whiteflies "pupae" were used as prey. We used tomato plants to obtain *B. argentifolii* nymphs. A laboratory colony of the lacewings *C. externa* was established and raised with whiteflies nymphs.

*Behavioural analysis.* We used several observations to quantify different aspects of the predatory behaviour of *C. externa* and to characterize its interactions with each of the two different foliar surfaces types (squash pubescent leaf or sweet pepper glabrous leaf). All experiments involved only larvae of *C. externa* selected randomly from the lacewing colony. To standardize hunger and avoid satiation during observations, the 2<sup>nd</sup> instar larvae were starved for 24 h prior to each test. The lacewings were exposed separately to each leaf substrates in Petri dishes (5 cm in diameter) with one disc of one of the two substrates: pubescent leaf or glabrous leaf on moistened filter-paper. In all cases, 10 whitefly pupae were distributed randomly on each substrate. Each treatment was replicated 30 times. Lacewings were introduced into the test arenas and observed for one hour. We recorded and analyzed using a camera video recorder and a timer. Each treatment was run at a separate time. Based on preliminary observations, the sequence of predation was divided in three steps: 1) searching (foraging on the substrate until contact); 2) handling (from contact

with prey until the onset of feeding); and 3) feeding (sucking prey fluids observable through the almost transparent cuticle of the nymph). Each event during the observation period was compared among the two plants using a test  $t$ . We observed the relation between the times spent searching, number of encounter with preys and number of whitefly nymphs eaten with a regression analyses. (SAS JMP IN version 5.1.2, 2003).

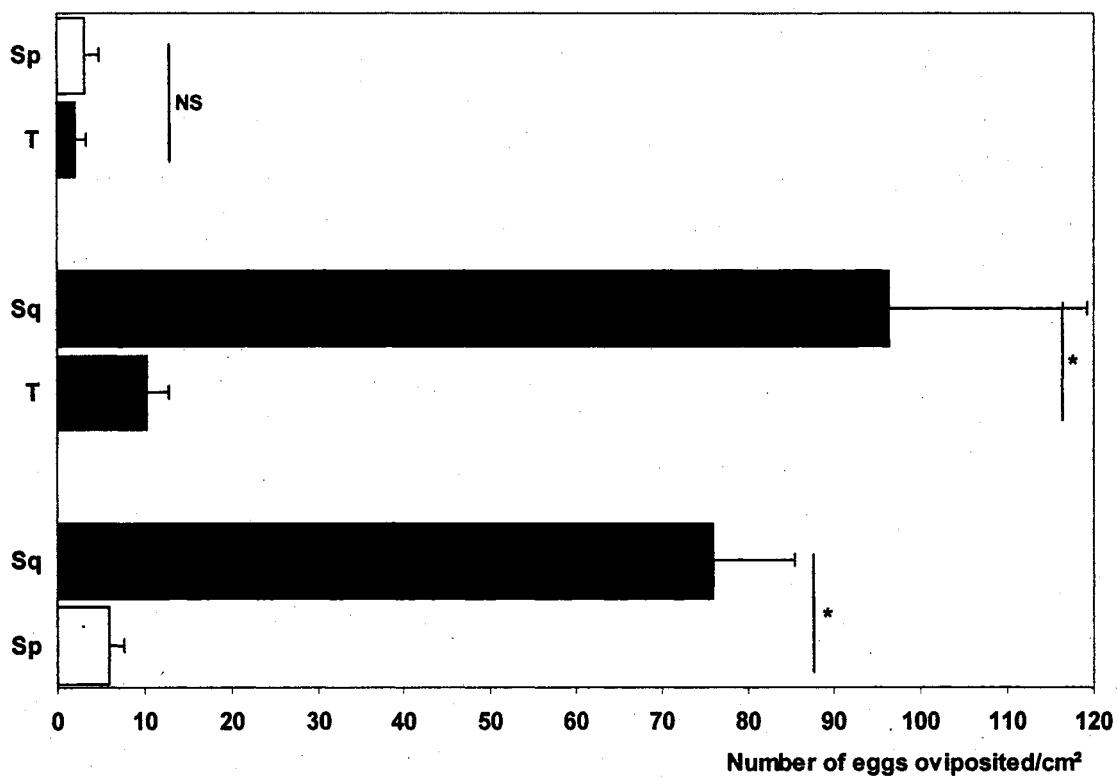
### III.5 Results

#### *Trichome densities*

Trichome densities were significantly different among sweet pepper, tomato and squash ( $P = 0.0001$ ) (Table 1). The mean density of trichomes on abaxial leaf surfaces was  $880 \pm 28$  ( $\pm 1$  SE)/ $\text{cm}^2$  in tomato, with a range from 643 to 1142,  $n = 25$ ; in squash  $3956 \pm 126$ , and a range from 2889 to 5036,  $n = 25$  and in sweet pepper 0.

#### *Experiment 1: Oviposition selection by *Bemisia argentifolii**

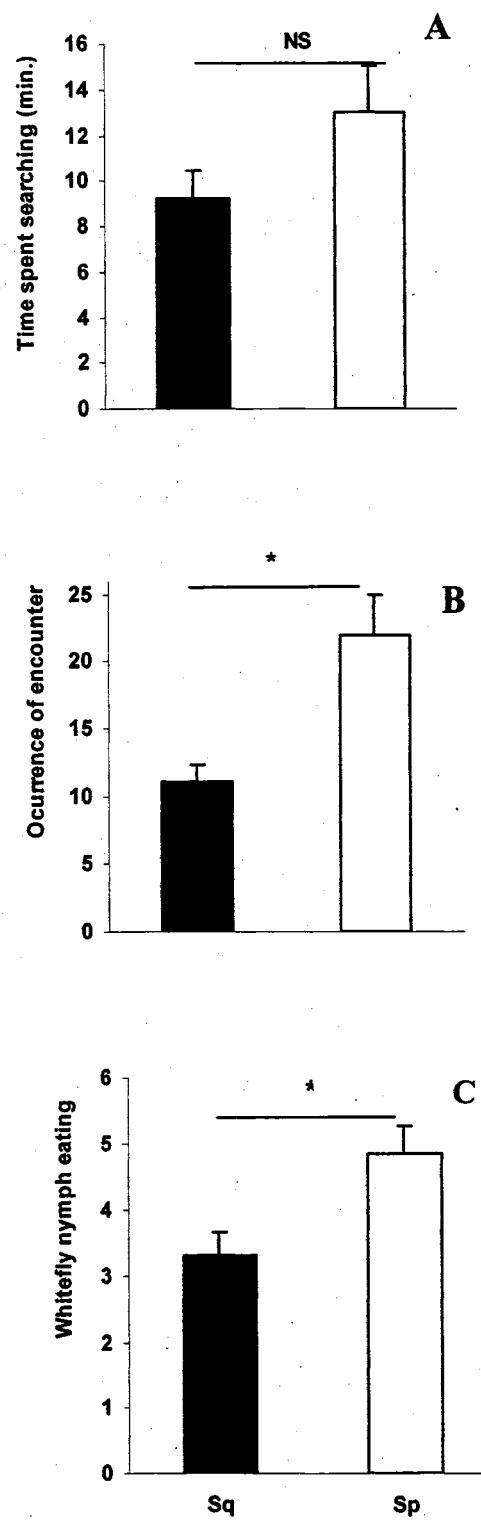
Whiteflies oviposited on the three host plants (Figure 1). In two-choice test, no significant difference was observed when offered tomato and sweet pepper: for tomato  $2.2 \pm 1.2$ ; ( $n = 28$  leaves); for sweet pepper  $3.1 \pm 1.6$ ; ( $n = 21$  leaves);  $t = 0.40$   $\text{df} = 39$ ,  $P = 0.688$ . In contrast, we found significant difference between squash ( $n = 28$  leaves) with the number of eggs/ $\text{cm}^2$  oviposited  $96.4 \pm 22.8$ ; (mean  $\pm 1$  SE) and tomato ( $n = 28$  leaves) with a number of eggs/ $\text{cm}^2$  of  $10.4 \pm 2.4$ ; ( $t = 3.74$   $\text{df} = 27$ ,  $P = 0.0008$ ). Female whiteflies oviposited more on squash ( $n = 28$  leaves) with a number of eggs of  $76.0 \pm 9.3$ ; (mean  $\pm 1$  SE) than on sweet pepper ( $n = 28$  leaves) with  $6.0. \pm 1.6$ ; ( $t = 7.36$   $\text{df} = 28$ ,  $P < 0.0001$ ).



**Figure 1.** Mean number of eggs oviposited/cm<sup>2</sup> by *B. tabaci* (mean  $\pm$  1 SE) on abaxial leaf surfaces. Host plants Sp, T and Sq denote sweet pepper, tomato and squash plants, respectively. Columns followed by the asterisk are significantly different ( $P < 0.05$ ) in test *t*.

#### *Experiment 3: Predatory behavior of C. externa.*

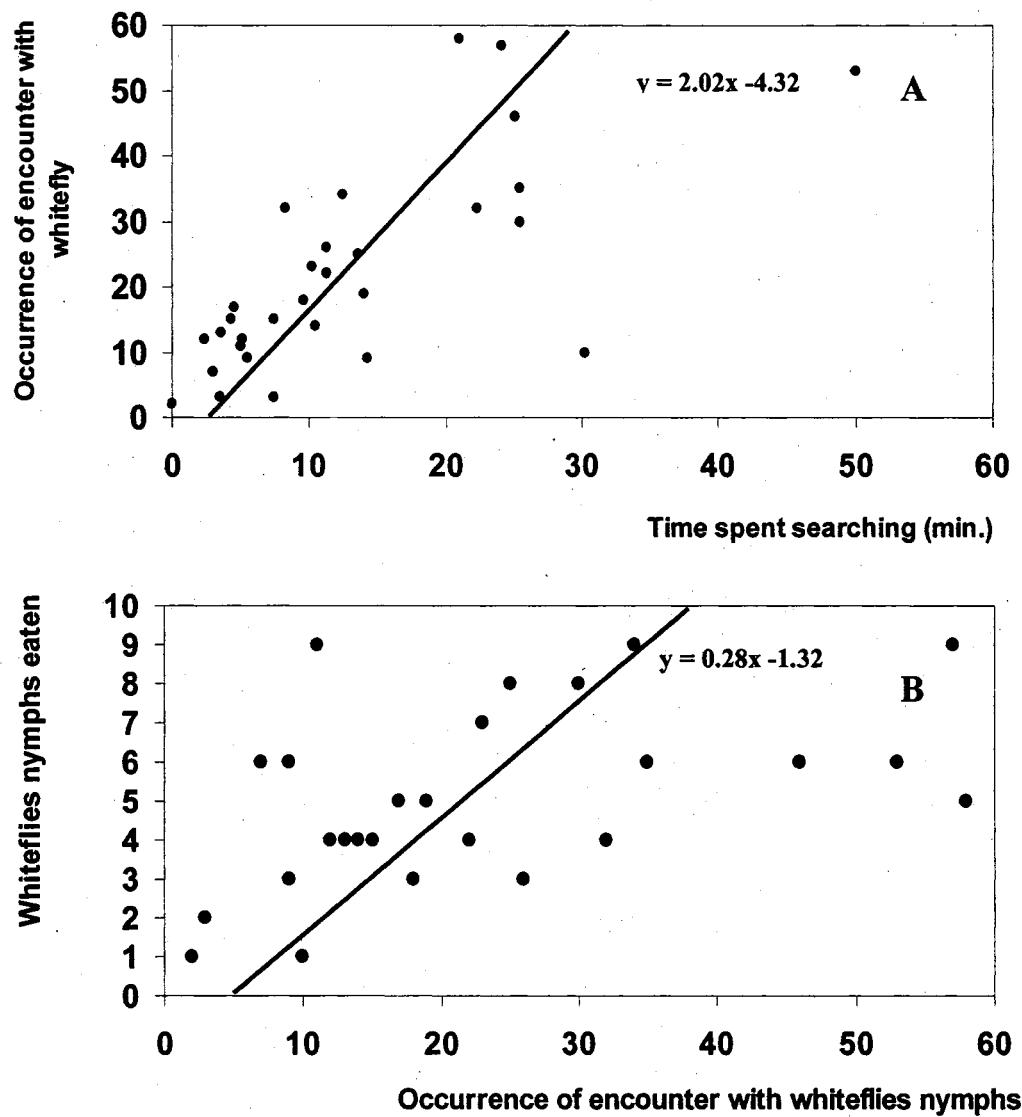
No significant differences were found when compared time spent searching on different plant species (Fig. 2 A). On glabrous leaves the time was  $13.0 \text{ minutes.} \pm 1.9$  ( $\pm$  SE), and on pubescent leaves  $9.2 \pm 1.2$ ; ( $t = 1.63$  df = 48,  $P = 0.1083$ ). In contrast, significant differences between the two leaf types were found on number of



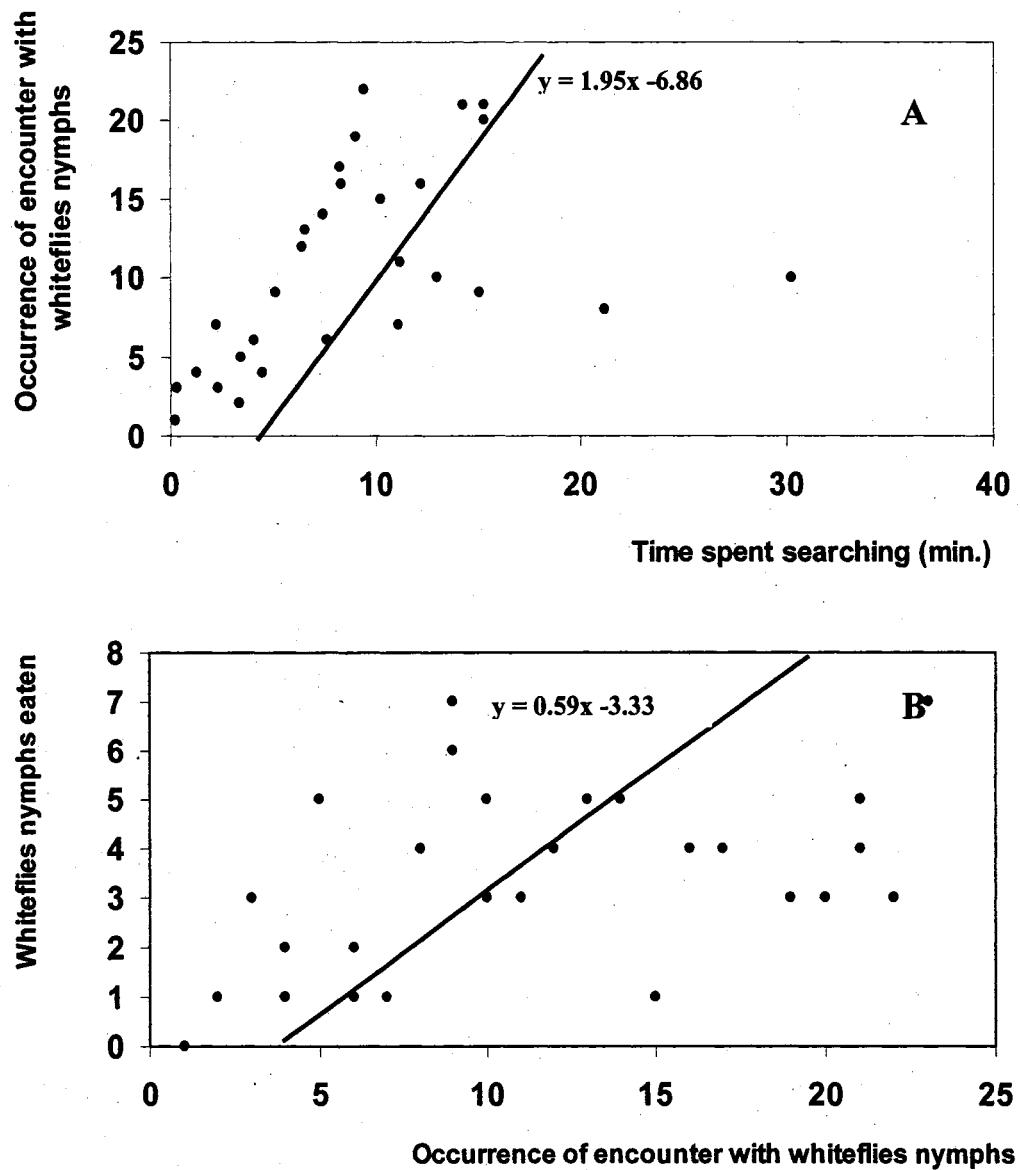
**Figure 2.** Means ( $\pm$ SE) for one hour observation period that *C. externa* spent on squash *Cucurbita argyrosperma* (Sq) and sweet pepper *Capsicum annuum* (Sp); A, time spent searching (mean  $\pm$  SE); B, occurrence of encounter (mean  $\pm$  SE) and C, whitefly nymph eaten (mean  $\pm$  SE). Columns followed by the asterisk are significantly different ( $P < 0.05$ ) in test *t*.

prey encounter: *C. externa* encountered more prey on glabrous leaves than on pubescent squash leaves (Fig. 2 B). The occurrence of whitefly nymphs encounter was higher on sweet pepper leaves ( $n = 30$  lacewings) ( $22 \pm 2.8$ ), than on squash leaves  $11.1 \pm 1.2$ ; ( $t = 3.52$  df = 39,  $P = 0.0011$ ). Significant difference in the number of preys feeding was observed (Fig. 2C): the number of nymphs eaten ( $n = 30$  lacewings) on glabrous leaves was  $4.8 \pm 0.4$ , and pubescent leaves was  $3.3 \pm 0.3$ ; ( $t = 2.89$  df = 55,  $P = 0.0054$ )

Regression analyses were conducted to determine the linear relationship between the three behavior sequence of the predator on pubescent and glabrous leaves. We found that as time spent searching increased, there was corresponding increase in encounter of whitefly nymphs on glabrous leaves ( $R^2 = 0.50$ , df = 29,  $P = 0.0001$ ) and that as encounter of whitefly nymphs increased, the number of nymphs eaten increased ( $R^2 = 0.25$ , df = 28,  $P = 0.004$ ) (Fig. 3A and 3B). Similar results were found in pubescent squash leaves: as time spent searching increased, there was corresponding increase in encounter of whitefly nymphs ( $R^2 = 0.25$ , df = 29,  $P = 0.0044$ ) (Fig. 4 A) that in turn resulted in increased feeding ( $R^2 = 0.21$ , df = 29,  $P = 0.0096$ ) (Fig. 4 B).



**Figure 3.** A, Relationship between time spent searching and number of encounter by *Chrysoperla externa* with whiteflies nymphs ( $R^2 = 0.50, P < 0.0001$ ) and B, between encounter of whiteflies nymphs and nymphs eaten ( $R^2 = 0.25, P < 0.0040$ ) on sweet pepper *Capsicum annuum*.



**Figure 4.** A, Relationship between time spent searching and number of encounter by *Chrysoperla externa* with whiteflies nymphs ( $R^2 = 0.25$ ,  $P < 0.0044$ ) and B, between encounter of whiteflies nymphs and nymphs eaten ( $R^2 = 0.21$ ,  $P < 0.0096$ ) on squash *Cucurbita argyrosperma*.

### III.6 Discussion

Two conclusions may be drawn from the results of this study. First, a greater number of *B. argentifolii* eggs were laid on the pubescent squash leaves than on moderately pubescent tomato leaves and on glabrous sweet pepper leaves (Fig. 1). The impact of leaf pubescence on whiteflies has been previously discussed. In general, glabrous cotton leaves bear lower *Bemisia* sp. populations than pubescent cotton (Butler and Henneberry, 1984; Butler and Vir, 1989; Flint and Parks, 1990), soybean (McAuslane 1996) and tomato leaves (Heinz and Zalom, 1995). The low number of eggs laid on glabrous *Capsicum annuum* indicates that the absence of trichomes probably was based of plant resistance against whitefly. In fact, the lower populations of whiteflies observed on glabrous and moderately pubescent leaves indicate partial antixenosis or oviposition reluctance. Nevertheless, the increased oviposition associated with increasing trichome densities is not a consistent trend across all plants. Leaf pubescence is negatively correlated with whitefly density in some cucurbits (McCreight and Kishaba, 1991) and some vegetables crops (Simmons 1994). However, the role of trichomes offers scope to develop host plant resistance to whitefly in cultivated plants. Simple comparison of the reduced number of eggs in glabrous versus pubescent leaves suggests the importance of trichomes in the *B. argentifolii* ovipositing choice. This phenomenon may be a result of the strong preference of the whitefly for laying its eggs at the base of leaf trichomes (Berlinger 1986), which may be an evolutionary response to selection exerted by predators and parasitoids. However, because immature stages are restricted to the natal host, selection among oviposition hosts could affect exposure to the third trophic level and hence whitefly fitness.

The second conclusion is that the predation efficiency of *C. externa* is negatively affected by trichomes. Numerous studies demonstrated the negative impact of plant defences on the natural enemies of herbivores (Bergman and Tingey, 1979; Boethel and Eikenbary, 1986; Hare, 1992, 2002; Bottrell et al., 1998; Cortesaro et al. 2000; Lucas et al 2004). Trichomes can affect natural enemies by reducing their

residence time on plants (Obrycki and Tauber, 1984; Romeis et al., 1999; Lovinger et al., 2000), entrapping small-bodied individuals (Obrycki and Tauber, 1984; Gruenhagen and Perring, 1999), acts as a toxin (Kennedy 2003) and inhibit the predators searching time (walk) (Keller, 1987; Krips et al., 1999). This difficulty in locomotion can be further affected by the presence of sticky exudate associated with many types of glandular trichomes (Elsey, 1974; Belcher and Thurston, 1982; Obrycki and Tauber, 1984). For example, Obrycki and Tauber (1984) found that the movement of newly hatched lacewing and ladybeetle larvae in two species of *Solanum* and their hybrids was reduced on plants with a higher density of glandular trichomes. Such results are consistent with other studies that have considered how glandular trichomes affect small-bodied natural enemies of herbivores (Kashyap et al., 1991; Krips et al., 1999; Michalska, 2003, Lucas et al., 2004). In the same way, Messina et al. (1995) found limited movement of the lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens) on the highly pubescent *Barbulatum* subspecies of wheatgrass. Although walking speed of coleopterous *Delphastus pusillus* (LeConte) are significantly reduced on cultivars with high trichome densities, the ability of this predator to suppress whitefly populations is not reduced in the presence of high trichome densities. It seems that in the presence of high trichomes densities, a longer residence time of the beetles compensates for the reduced walking speed (Heinz and Zalom 1996). However, in our study, the time spent searching by the second instar of *C. externa* is not significantly affected in the presence of high trichome densities (Fig. 2A). Our observations showed that 2<sup>nd</sup> instar of *C. externa* walked over the squash trichomes; maybe higher trichome densities surface forces *C. externa* to walk over the hairs instead of between them without significantly affecting their movement.

Although our data indicated that time spent searching of *C. externa* was not affected by leaf pubescence (Fig. 2A), the lacewing had more difficulties to encounter whiteflies nymphs on cultivars with high trichome densities (Fig. 2B). This pattern was probably a result, in part, of an increase of the whitefly nymphs consumption on glabrous leaves (Fig. 2C). Characteristics of the herbivore's host plants, such as the

presence of trichomes, may also affect the ability of natural enemies to locate their host (Hulsaps-Jordaan and van Lenteren, 1978, Peter and David, 1990). The smaller number of host encounter and consumption on pubescent squash leaf compared with sweet pepper glabrous leaf (Fig. 2B, 2C) suggest that the trichomes reduce predator encounter with hosts, thereby lowering chances for predation. On leaf surfaces with dense pubescence, some nymphs are hidden between hairs, where predators cannot reach them easily. Maybe lacewing larvae cannot perceive their prey over a small distance as it is for the coccinellid *Adalia bipunctata* (L.) (Shah, 1982). Our results are consistent with other studies that have considered how trichomes affect small natural enemies of herbivores (Krips et al., 1999; Michalska, 2003). Treacy et al. (1987) showed that cotton leaf trichomes interfered with horizontal movement of *Chrysoperla rufilabris* (Burmeister) larvae over the leaf surface and its searching behavior appeared to be more affected by trichomes. Typical responses of *C. rufilabris* larvae were to avoid trichomes by changing direction of movement, to climb the trichomes, and to stop and grasp the trichomes with their mandibles. Our observations showed that when larvae encountered a prey during random foraging on pubescent leaves, foraging was repeatedly interrupted. The *C. externa* larvae walked on top of the trichomes rather than on the leaf surface. This greatly decreased the probability of encountering *B. argentifolii* nymphs. It is consistent with results from works dealing with coccinellids, characterized by the detection of prey by contact while randomly searching on the plant (Dixon, 1958; Shah, 1982; Obrycki, 1986).

The negative impact of trichomes on natural enemies suggests that whiteflies might experience natural selection to utilize pubescent plants because they provide enemy-free space (EFS). Jeffries and Lawton (1984) defined EFS as ways of living that reduce or eliminate a species' vulnerability to one or more species of natural enemies'. This phenomenon may in fact be the case with *B. argentifolii* who shows a high degree of specialization on plants with high trichomes densities.

Our data support the hypothesis that trichomes provide enemy-free space for *B. argentifolii* because whiteflies nymphs suffered significantly lower mortality on pubescent squash leaf in the presence of *C. externa* (Fig. 2C).

Trichomes influence the predator-prey encounter rate. This factor may lead to a reduction of prey consumption (3B, 4B). Plant breeders should aim at selection for hybrids with low trichome densities. The combined effect of biological control by natural enemies and partial plant resistance/tolerance may lead to long term, environmentally safe whitefly control.

However, in order to discriminate between trichome and plant effects, further studies must be carried out comparing cultivars of the same plant species with different trichome densities. Further studies may also evaluate the impact of trichome densities on other species of the aleurophagous guild, since in some case trichomes may have positive effect on predators. For example, the cecidomyiid predator *Aphidoletes aphidimyza* Rondani takes benefit of high trichome densities by being protected against intraguild predators (Lucas and Brodeur, 1999).

### **Acknowledgments**

We thank Nora Fiallos Aguilera, Dulce Maria Rodezno and Indra Pineda Arauz for assisted in the execution of the Experiment. Enilda Cano (Centro de Investigación y Reproducción de Controladores Biológicos, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua in León, Nicaragua.) supplied the *Chrysoperla externa*, Entomology section of Centro de Investigación en Protección Vegetal belonging Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco, Estelí, Nicaragua for Experimental conditions, Bruno Fréchette for the revision of the manuscript and the team of research of the biological control laboratory of the Université du Québec à Montreal.

### III.8 Literature Cited

- Arzet, VHR. 1973. Suchverhalten der larven von *Chrysopa carnea* Steph. (Neuroptera: Chrysopidae). *Zeitschrift fuer Angewandte Entomologie*. **74**, 64-79.
- Belcher, DW and R. Thurston 1982. Inhibition of movement of larvae of the convergent lady beetle by leaf trichomes of tobacco. *Environmental Entomology* **11**, 91-94.
- Bergman JM and WM Tingey. 1979. Aspects of interaction between plant genotypes and biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America*. **25**, 275-279.
- Berlinger, M. J., 1986. Host plant resistance to *Bemisia tabaci*. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **17**, 69-82.
- Boethel, DJ, and RD. Eikenbary. 1986. Interactions of plant resistance and parasitoids and predators of insect. Wiley, New York. 224 pp.
- Bottrell DG, P Barbosa, and F Gould. 1998. Manipulating natural enemies by plant variety selection and modification: a realistic strategy? *Annual Review of Entomology*. **43**, 347-367.
- Brown, J.K. 1994. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector agroecosystems worldwide. *Plant Protection Bulletin*. **42**, 3-32.
- Brown, J.K., and J Bird. 1992. Whitefly-transmitted geminiviruses and associated disorders in Americas and the Caribbean Basin. *Plant Disease*. **76**, 220-225.

- Buta JG, WR Lusby, JW Neal Jr., RM Waters, and GW Pittarelli 1993. Sucrose esters from *Nicotiana gossei* active against the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum*. *Phytochemistry*. **32**, 859–864.
- Butler Jr, GD., and TJ. Henneberry, 1984. *Bemisia tabaci*: effect of cotton leaf pubescence on abundance. *Southwestern Entomologist*. **9**, 91–94.
- Butler Jr., G.D.; T.J. Henneberry, and F.D.Wilson, 1986. *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton: adult activity and cultivar oviposition preference. *Journal of Economic Entomology*. **79**, 350-354.
- Butter, NS and BK Vir 1989. Morphological basis of resistance in cotton to the whitefly *Bemisia tabaci*. *Phytoparasitica*. **17**, 251-261.
- Cortesero AM, JO Stapel, and WJ Lewis 2000. Understanding and manipulating plant attributes to enhance biological control. *Biological Control*. **17**, 35–49.
- de Ponti, O.M.B, van Lenteren, J.C. and Sabelis, M.W. 1988. Halfhaired cucumbers and trichomeless tomatoes for improved biological control of the glasshouse whitefly and the two-spotted spider mite. *Bulletin IOBC/WPRS*. **11**, 22–23.
- Dimock MB, and GG. Kennedy 1983. The role of glandular trichomes in the resistance of *Lycopersicon hirsutum f. glabratum* to *Heliothis zea*. *Entomologia Experimentalis Applicata*. **33**, 263–68.
- Dixon, AFG., 1958. The escape response shown by certain aphids to the presence of the coccinellid *Adalia decempunctata* (L.).*Transactions of the Royal Entomological Society London* **110**, 319–334.

- Duffey SS. 1986. Plant glandular trichomes: their potential role in defense against insects. In *Insects and the Plant Surface*, ed. B.Juniper,R.Southwood, pp. 151–72. London: Arnold. 360 pp.
- Elsey KD. 1974 Influence of plant host on searching speed of two predators. *Entomophaga* 19, 3–6.
- Flint, HM and NJ Parks 1990. Infestation of germplasm lines and cultivars of cotton in Arizona by whitefly nymphs (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Entomological Science*. 25, 223-229.
- Gauld, ID. and KJ. Gaston, 1994. The taste of enemy-free space: parasitoids and nasty hosts. In: Hawkins, B. A. and W. Sheehan (eds), *Parasitoid Community Ecology*. Oxford University Press, New York, pp. 300–318.
- Goffreda JC, MA. Mutschler, DA. Ave, WM. Tingey and JC. Steffens. 1989. Aphid deterrence by glucose esters in glandular trichome exudate of the wild tomato, *Lycopersicon pennellii*. *Journal of Chemical Ecology*. 15, 2135–2147.
- Greathead, AH. 1986, Host plants. In *Bemisia tabaci* a Literature survey, MJW. Cock. (ed.) CAB Intl. Inst. Biol. Control. Silwood Park. UK. p 17-26.
- Gruenhagen NM, and TM. Perring 1999. Velvetleaf: a plant with adverse impacts on insect natural enemies. *Environmental Entomology*. 28, 884–889.
- Hare JD 1992. Effects of plant variation on herbivore–natural enemy interactions. In: Fritz RS, Simms EL (eds) *Plant resistance to herbivores and pathogens: ecology, evolution, and genetics*. University of Chicago Press, Chicago, pp 278–298.

- Hare JD 2002. Plant genetic variation in tritrophic interactions. In: Tscharntke T, Hawkins BA (eds) Multitrophic level interactions. Cambridge University Press, Cambridge, pp 8–43.
- Headrick, DH, TS Bellows and TM Perring. 1996. Behaviors of female *Eretmocerus* sp. Nr. *californicus* (Hymenoptera: Aphelinidae) attacking *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton, *Gossypium hirsutum*, (Malvaceae) and melon, *Cucumis melo* (Cucurbitaceae) *Biological Control*. **6**, 64-75.
- Heinz KM, and FG. Zalom 1995. Variation in trichome-based resistance to *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) oviposition on tomato. *Journal Of Economic Entomology*. **88**, 1494-1502.
- Heinz KM, and FG. Zalom 1996. Performance of the predator *Delphastus ausillus* on *Bemisia* resistant and susceptible tomato lines. *Entomologia. Experimentalis. Applicata*. **81**, 345-352.
- Hilje, L. 2001. Aspectos bioecológicos y epidemiológicos claves para el manejo del complejo mosca blanca-geminivirus. In VI Taller Nacional Hortícola, Santa Cruz, Estelí, Nicaragua, 3-6 de julio. 10 p.
- Hulspas-Jordaan, PM, and JC van Lenteren. 1978. The relationship between host-plant leaf structure and parasitization efficiency of the parasitic wasp *Encarsia Formosa* Gaham (Hymenoptera: Aphelinidae). *Mededelingen van de Faculteit der Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*. **43**, 431-440.

- Jeffries MJ, and JH. Lawton. 1984. Enemy free space and the structure of ecological communities. *Biological Journal of the Linnean Society.* **23**, 269–286.
- Karban, R., G. English-Loeb, MA. Walker, and J. Thaler, 1995. Abundance of phytoseiid mites on *Vitis* species: effects of leaf hairs, domatia, prey abundance and plant phylogeny. *Experimental and Applied Acarology.* **19**, 189–197.
- Kashyap RK, GG. Kennedy, and RR. Farrar Jr. 1991. Behavioral response of *Trichogramma pretiosum* Riley and *Telenomus sphingis* (Ashmead) to trichome/methyl ketone mediated resistance in tomato. *Journal of Chemical Ecology.* **17**, 543–556.
- Keller MA 1987. Influence of leaf surfaces on movements by the hymenopterous parasitoid *Trichogramma exiguum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata.* **43**, 55–59.
- Kennedy GG. 2003. Tomato, pests, parasitoids, and predators: tritrophic interactions involving the genus *Lycopersicon*. *Annual Review of Entomology.* **48**, 51–72.
- Krips OE, PW Kleijn, PEL Willems, GJZ Gols, and M. Dicke 1999. Leaf hairs influence searching efficiency and predation rate of the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology.* **23**, 119–131.
- Leidl, BE., DM. Lawsonn, KK.White, JA. Shapiro, DE Cohen, WG.Carson, JT. Trumble, and MA. Mutschler 1995. Acylsugars of wild tomato *Lycopersicon pennellii* alters settling and reduces oviposition of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology.* **88**, 742-748.

- Li, ZH., F. Lammes, JC. van Lenteren, PWT. Huisman, A. van Vianen, and OMB. DePonti, 1987. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae). XXV. Influence of leaf structure on the searching activity of *Encarsia formosa*. *Journal of Applied Entomology*. **104**, 297–304.
- Liu TX, PA Stansly, and OT Chortyk 1996. Insecticidal activity of natural and synthetic sugar esters against *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*. **89**, 1233–1239.
- Lovinger A, D Liewehr, and WO. Lamp 2000. Glandular trichomes of alfalfa impede searching behavior of the potato leafhopper parasitoid. *Biological Control* **18**, 187–192.
- Lucas, E. and J. Brodeur. 1999. Oviposition site selection by the predatory midge *Aphidoletes aphidimyza* (Diptera: Cecidomyiidae). *Population Ecology*. **4**, 622–627.
- Lucas, E.; C. Labrecque, and D. Coderre 2004. *Delphastus catalinae* and *Coleomegilla maculata lengi* (Coleoptera: Coccinellidae) as biological control agents of the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporarium* (Homoptera: Aleyrodidae). *Pest. Management. Science*. **60**, 1073-1078.
- McAuslane, HJ, 1996. Influence of leaf pubescence on ovipositional preference of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on soybean. *Environmental. Entomology*. **25**, 834-841.

- McCreight, JD., and AN Kishaba. 1991. Reaction of cucurbit species to squash leaf curl virus and sweet potato whitefly. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* **116**, 137-141.
- Messina, JF, TA Jones, and DC Nielson. 1995. Host plant affects the interaction between the Russian wheat aphid and a generalist predator, *Crysoperla carnea*. *Journal of the Kansas Entomological Society.* **68**, 313-319.
- Michalska K 2003. Climbing of leaf trichomes by Eriophyid mites impedes their location by predators. *Journal of Insect Behavior* **16**, 833–844.
- Neal, JJ., WT. Tingey, and J. Steffens, 1990. Sucrose esters of carboxylic acids in glandular trichomes of *Solanum berthaultii* deter settling and probing by green peach aphid. *Journal of Chemical Ecology.* **16**, 487-497.
- Obrycki JJ. 1986. The influence of foliar pubescence on entomophagous species. pp. 61–83 In: Boethel DJ, Eikenbary RD, eds. *Interactions of Plant Resistance and Parasitoids and Predators of Insects*. Chichester, West Sussex: Ellis Horwood. 224 pp.
- Obrycki JJ, and MJ. Tauber 1984. Natural enemy activity on glandular pubescent potato plants in the greenhouse: an unreliable predictor of effects in the field. *Environmental Entomology* **13**, 679–683.
- Ozgur, AF. and E. Sekeroglu, 1986. Population development of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleurodidae) on various cotton cultivars in Cukurova, Turkey. *Agriculture Ecosystems and Environment.* **17**, 83–88.

Perring, TM; AD Cooper, RJ Rodriguez, CA Farrar, and TS Bellows Jr. 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. *Science* **259**, 74-77.

Peter C and BV David 1990. Influence of host plants on the parasitism of *diaphania indica* (Lepidoptera: Pyralidae) by *Apanteles taragamae* (Hymenoptera: Braconidae). *Insect Science and its Application* **11**, 903-906.

Pillemer, EA and WM Tingey. 1978. Hooked trichomes and resistance of *Phaseolus vulgaris* to *Empoasca fabae* (Harris). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. **24**, 83-94.

Price, PW., 1986. Ecological aspects of host plant resistance and biological control: Interactions among three trophic levels. In: Boethel, D. J. and R. D. Eikenbary (eds), *Interactions of PlantResistance and Parasitoids and Predators of Insects*. Ellis Horwood, Chichester, pp. 11-30.

Price PW, CE Bouton, P Gross, BA McPheron, JN Thompson, and AE Weis 1980. Interactions among three trophic levels: influences of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. *Annual Review of Ecology and Systematics* **11**, 41-65.

Romeis J, TG Shanower, and CPW Zebitz. 1999. Why *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) egg parasitoids of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) fail on chickpea. *Bulletin of Entomological Research*. **89**, 89-95.

SAS Institute. 2003. JMP IN user's guide. Version 5.1.2 Edition. SAS Institute, Cary, N.C., USA.

Schuster, D.J.; T.F. Mueller, J.B. Kring, and J.F. Price 1990. Relationship of the sweetpotato whitefly to new tomato fruit disorder in Florida. *HortScience*. **25**, 1618-1620.

Scopes, NEA. 1969. The potential of *Chrysopa carnea* as a biological control agent of *Myzus persicae* on glasshouse chrysanthemus. *Annals of Applied Biology*. **64**, 433-439.

Severson, RF., OT., Chortyk, MG. Stephenson, DH. Akey, JW. Neal Jr. GW Pittar Elli, DM Jackson, and VA Sisson. 1994. Characterization of natural pesticide from *Nicotiana gossei*, pp. 107-121, in P. A. Hedin (ed.). Bioregulators for Crop Protection and Pest Control. ACS Symposium Series 557. American Chemical Society, Washington, D.C.

Shah, MA. 1982. Influence of plant surfaces on the searching behaviour of coccinellid larvae. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. **31**, 377-380.

Simmons, AM. 1994. Oviposition on vegetables by *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae): temporal and leaf surface factors. *Environmental Entomology*. **23**, 381-389.

Snyder, J. C., A. M. Simmons and R. R. Thacker, 1998. Attractancy and ovipositional response of adult *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) to type IV trichomes density on leaves of *Lycopersicon hirsutum* grown in three day-length regimes. *Journal of Entomological Science*, **33**, 270-281.

Southwood, TRE. 1986. Plant surfaces and insects an overview. Insects and the plant surface. Ed. by B. Juniper; and TRE Southwood. London: Edward Arnold. pp. 1-22.

- Tingey, WM. 1981. Potential for plant resistance in management of arthropod pest. Pp. 268-288. In: J.H. Lashomb and R.A. Casagrande (eds). *Advances in potato pest management*. Hutchinson Ross, Stroudsbury, PA.
- Treacy, MF, JH Benedict, JD Lopez and RK Morrison. 1987. Functional response of a predator (Neuroptera: Chrysopidae) to bollworm (Lepidoptera: Noctuidae) eggs on smoothleaf, hirsute, and pilose cottons. *Journal of Economic Entomology* **80**, 376-379.
- van Lenteren JC and OMB de Ponti 1990. Plant-leaf morphology, host plant resistance and biological control. *Symposium Biologica Hungarica*. **39**, 365-386.
- van Lenteren, JC., PM Hulspas-Jordaan, Z.H. Li and OMB de Ponti,. 1987. Leaf hairs, *Encarsia formosa* and biological control of whitefly on cucumber. *Bulletin. IOBC/WPRS*. **2**, 92-96.
- van Lenteren, JC., ZH. Li, JW. Kamerman, and R. Xu 1995. The parasite-host relationship between *Encarsia formosa* (Hym., Aphelinidae) and *Trialeurodes vaporariorum* (Hom., Aleyrodidae). XXVI. Leaf hairs reduce the capacity of *Encarsia* to control greenhouse whitefly on cucumber. *Journal of Applied Entomology*. **119**, 553-559.
- Walter, DE. 1996. Living on leaves: mites, tomenta, and leaf domatia. *Annual Review of Entomology*, **41**, 101-114.

Yencho, GC., Renwick, JAA., Steffens, JC., and Tingey, WM. 1994. Leaf surface extracts of *Solatium berthaultii* Hawkes deter Colorado potato beetle feeding. *Journal of Chemical Ecology.* **20**, 991-995.

## **CHAPITRE IV**

### **INTEGRATED WHITEFLY MANAGEMENT PROGRAM IN TOMATO CROP IN NORTHERN NICARAGUA**

#### IV.1 Résumé

La mouche blanche *Bemisia tabaci* (Gennadius), cause un problème majeur dans les plaines et vallées d'Amérique centrale, autant comme ravageur que comme vecteur de nombreux virus. L'importance socio-économique de *B. tabaci* a été accentuée par l'introduction de cultures de haute valeur économique, telle que la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). La production intensive de monocultures de tomate a donné les conditions idéales pour l'apparition d'un nouveau et plus agressif biotype de *B. tabaci*, le biotype B (= *Bemisia argentifolii* Bellows et Perring), et a permis l'apparition d'importantes populations qui ont acquis rapidement de la résistance aux insecticides. La présente recherche visait à développer un programme de lutte intégrée contre cet important ravageur au Nicaragua. L'étude comportait quatre volets: 1) études des fluctuations annuelles de *B. tabaci* en fonction de la saison et des ennemis naturels, 2) évaluation de cultivars tolérants aux geminivirus, 3) évaluation des mailles de protection des pépinières, 4) élaboration et validation du programme. Les résultats obtenus ont permis d'aboutir à un programme de lutte intégrée qui intègre le composant génétique, physique, chimique, biologique et cultural. Le programme d'application facile et respectueux de l'environnement a permis d'augmenter de plus de 4 fois la récolte de tomates par rapport à la moyenne nationale et d'obtenir un ratio coût/bénéfice de 1: 8.

**Mots clés:** Lutte intégrée, *Bemisia tabaci*, tomate, Nicaragua.

## IV.2 Summary

The whitefly (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) is a major crop problem in the lowlands and mid-altitude valleys of Central America, due largely to its role in the transmission of a variety of plant viruses. The socioeconomic importance of *B. tabaci* has been accentuated by the introduction of high-value crops, such as tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). The intensive production of tomato monocultures in Nicaragua permitted the appearance of high *B. tabaci* populations that became quickly resistant to synthetic insecticides. The changes in the cropping system and the overuse of insecticides were ideal conditions for the appearance of a more aggressive biotype of *B. tabaci*, (biotype B = *Bemisia argentifolii* Bellows and Perring). The research aimed to develop an integrated management program against *B. tabaci* in Nicaragua. The project was constituted of four studies: 1) yearly density fluctuation of *Bemisia tabaci* in function of season and natural parasitism, 2) assessment of cultivars resistances of geminivirus transmitted by *Bemisia tabaci*, 3) evaluation of protection screen, against *Bemisia tabaci* in tomato nursery, 4) development and evaluation of the program in the field. The program integrated five components; genetic, physical, chemical, biologic and cultural control. The program of easy application and friendly with the environment permits harvest increased 4.6 times and relationship cost/benefit of 1: 8.

**Key words:** Integrated pest management, *Bemisia tabaci*, tomato, Nicaragua.

### IV.3 Introduction

The whitefly (*Bemisia tabaci* (Gennadius)) is a major crop problem in the lowlands and mid-altitude valleys of Central America, due largely to its role in the transmission of a variety of plant viruses (Perring 2001). According to Brown (1994), the distribution of the *B. tabaci* is related to monocultures practices and associated with indiscriminate use of chemical pesticides. *Bemisia tabaci* is characterised by a remarkable phenotypical plasticity and diversity of strains, which has facilitated the rapid development of insecticide-resistant populations (Perring 2001).

In Nicaragua, *B. tabaci* was recorded as a pest of cotton in the 1960s (Swezey *et al.*, 1986) and became in 1977 the major pests and virus vectors in cotton (Morales and Anderson, 2001). In the early 1980s, new crops such as tomato and sweet pepper became intensively cultivated. The Sebaco mid-altitude valley was a place for intensive tomato production and subsequently the appearance of important whiteflies populations, which were managed with synthetic insecticide applications. In the mid 1980s, virus disease associated with whiteflies quickly spread throughout open field and affected all tomato crops. Complete regions dedicated to the production of tomato have been destroyed with losses fluctuating between 20 and 100% (Varela 1995), making virtually not profitable the production of tomato (Dicovskiy L. *pers. com.* 2001) and generating serious economic and social problems.

The tomato crops are highly susceptible to both the whitefly pest and the viruses it transmits, and the small-scale farmers who are trying to maximize their income from their limited land resources do not have technical assistance for these new horticultural crops. As a result, agrochemical companies have been able to promote chemical control as the only crop protection technique available.

Nine of ten tomato producers of the north of Nicaragua use synthetic insecticides, carrying out different ranges of applications, the most frequent between 5 to 8 applications (Nunes *et al.* *in press chapter 1*); 52% of them applied insecticides

in a preventive way, while 48% affirmed using insecticides when damages (virus symptoms) are already visible (too late for effectiveness control; 64% of interviewed tomato producers used insecticides of low or null impact against *B. tabaci*. This intensive and misuse of insecticides to control the whitefly problem has only aggravated crop losses due to the development of pesticide resistance in *B. tabaci* (Prabhaker *et al.* 1985, Dittrich and Ernst 1990, Horowitz and Ishaaya 1996) and probably to the elimination of natural enemies of the whitefly (e.g., spiders and beneficial insects).

In Nicaragua, at this time, the control of *B. tabaci* is not effective and neither sustainable. It is urgent to develop a new approach to control whiteflies in Central America, which emphasizes minimizing crop loss by all available methods including the use of tolerant varieties, cultural, physical and biological controls, and judicious application of chemicals. It is necessary to develop an integrated pest management program (IPM), adapted to social, economic and environmental conditions of Nicaragua.

Due to the fact that the virus is incurable, the program against *B. tabaci* must be essentially preventive, aiming to eliminate or to exclude the vector as long as possible of the plants. All practices aiming to delay the inoculation of the geminivirus will have a positive effect on the production. For this, it is necessary to have a good knowledge of bio-ecological factors that underlie the maintenance and fluctuations of insect populations in the field. Studies designed to quantify the natural enemies and rainfall effects on fluctuations of whitefly populations, the protection methods of tomato nursery against viral vectors and cultivars tolerance of geminivirus are necessary to elaborate of the integrated management program against *B. tabaci*.

The objective of this study was to develop and evaluate an IPM program against whiteflies in Nicaragua, including of tolerant varieties, cultural, physical and biological controls and judicious applications of insecticides to ensure production.

This program has to be efficient, environmentally safe and user-friendly for farmers. The first step will be the study of the natural control of whiteflies by parasitoid along the seasons, in order to select the best period for starting the crop. The second step will evaluate different physical screen protection against whiteflies in nurseries. The third objective will be the selection of a cultivar of tomato tolerant to whitefly-borne viruses in the tropics. Then the final step will be the evaluation of an IPM program designed according to the results obtained previously.

#### IV.4 Material and Methods

The experimental area was located in Estelí, Nicaragua, 86° 22' longitude west and 13° 14' north latitude, in the semi-arid zone known as "dry tropic", with an annual precipitation of 800 mm. concentrated in the months of May to November and a temperature average of 24 C°.

##### *Experiment 1: Natural parasitism of Bemisia tabaci along the seasons.*

The parasitism of *Bemisia tabaci* (Gennadius) was evaluated on tomato crops. We identified parasitoids species, the rate of *B. tabaci* parasitism and the daily precipitation impact on whiteflies populations. The sampling has been achieved in four tomato cultures, free-insecticides with a surface of 400 m<sup>2</sup> each, were established between May 2001 and June 2002 in dry tropical zone. Two tomato cultures between May and August (rainy season) and two other between November and June (dry season). Weekly samplings have been done from seventh week. Every week, one leaf was taken by plant to the basis of the third superior of plants in 32 random plants. To know the levels of *B. tabaci* infestation, the number of whiteflies pupae by leaf was counted. The nymphs of end of third and fourth instar (pupae) of development were isolated in glass tubes as waiting for the emergence of whitefly adult or parasitoids.

The parasitoids have been identified with the key of *Encarsia* species proposed by Polaszec et al. (1992) and the manual of parasitoids recognition Cave (1995). The collected specimens are in the reference collection of the laboratory of entomology of «Centro de Investigación en Protección Végetal (CIPROV)», belonging to « Universidad Católica Agrícola del Trópico Seco (UCATSE)», in Estelí, Nicaragua.

*Experiment 2: Evaluation of cultivars tolerant to Bemisia tabaci-borne viruses*

The work was carried out between July and October 2003, period when the densities of the whiteflies are high. Three commercial cultivars of tomato were used: TY-13, Butte and Peto 98. Three treatments and four repetitions were distributed in random complete blocks design. The tomato culture had a surface of 960 m<sup>2</sup>. The plants were not subjected to application of insecticides. We observed the presence of virus symptom in a total of 432 tomato plants a weekly. To know the differences among the cultivars an ANOVA was made.

*Experiment 3: Evaluation of protection screen, against Bemisia tabaci in tomato nursery.*

Four different protection screens were evaluated in the cages of 60 x 50 x 50 cm, each treatments have four repetitions. The treatments were: 1. *agribon* screen elaborate with overlapped fibers, 2. plastic screen with 1.13 mm<sup>2</sup> size of hole opening, 3. screen used traditionally by the farmer, 4. antivirus screen with 0.21 mm<sup>2</sup> size of hole opening and 5. control (without protection). The treatments were distributed in random design. Twenty plants were taken out to nursery by treatment and repetition to determine the presence of eggs, nymphs or adults whiteflies. The differences among treatments were evidenced by an ANOVA

*Design and evaluation of the IPM program.*

The work carries out between December (2002) and April (2003). Three tomato cultures were established with a surface of 1000 m<sup>2</sup> each (the IPM program, the IPM program without insecticide and the IPM program with applications of insecticide according to farmer approach). The genetic, physical, biological, and cultural control of the IPM program has been selected according to the preliminary of our study.

*IPM.* Was based to exclude the vector from the plants as long as possible, to make it is necessary seedling the tomato seeds in the pots for maintain the plants up to 30 days under nursery protection and reduce the stress during rooting in the field (cultural control). The nursery should be protected with screen (physical control). When the screen is retreat from the nursery, an application of systemic insecticide is made to provide an additional protection in the field (chemical control). The culture is started when the rate of natural parasitism of the whiteflies is high (biological control). Finally, the cultivar tolerant to the whiteflies-borne viruses (genetic control) should be used.

*IPM free- insecticide.* Is the IPM treatment without physical and chemical control (IPM-FI)

*IPM with insecticide farmer approach* (IPM-FA). Is the IPM treatment without physical control and the chemical farmer approach control. Application of Imidacloprid [1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamine] 0.65 g./l in the nursery and two applications of Imidacloprid and one application of Methamidophos (*O,S*-dimethyl phosphoramidothioate), to reason of 2.5 g./l. in the field, with an interval of 15 days between each application.

Plants with virus symptoms: fourty randomly choses plants were selected weekly to determine by visual observation the presence of virus symptoms. Production by plant: the fruits by plant were weighed.

To determine the relationship cost/benefit the following formulate was used:

$$\text{Utility} = \text{Revenues} - \text{Expenditures}.$$

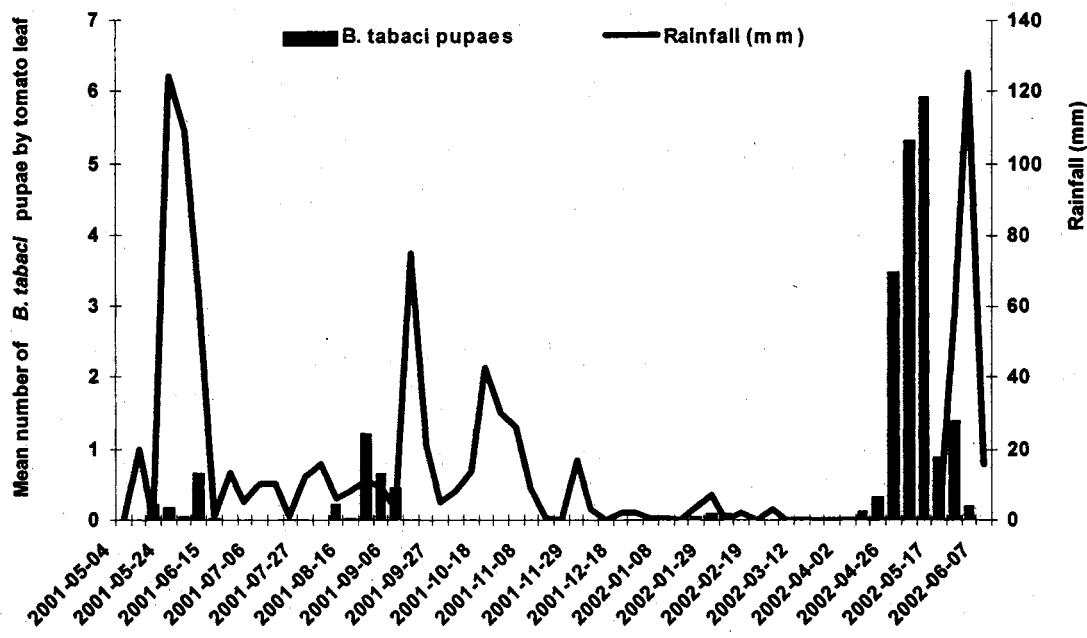
$$\text{Profitability} = \frac{\text{Utility} * 100}{\text{Production costs}}$$

Relationship cost/benefit = 1 dollar invested: utility/ production costs.

#### IV.5 Results

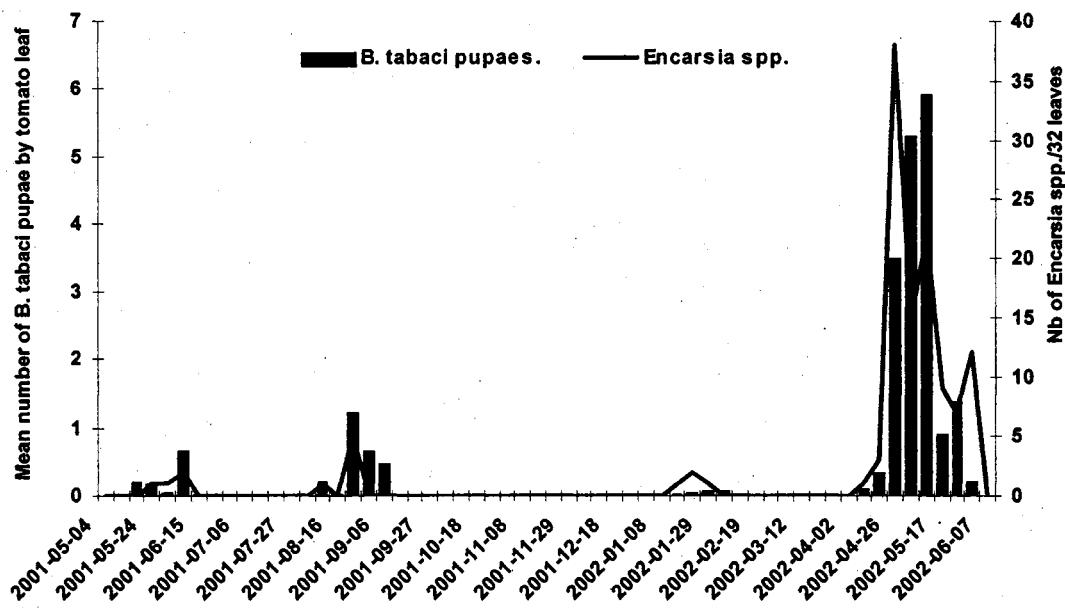
##### *Experiment 1: Natural parasitism of Bemisia tabaci along the seasons.*

*Density fluctuation of Bemisia tabaci.* At the beginning of the rainy season, (May-June), the accumulations of rains were superior to 100 mm per week, and the number of the pupae by leaf was relatively low, ( $\bar{x} = 0.23$  pupae/leaf). However, the number of pupae by leaf was nearly double than in the middle of the rainy season (August September) ( $\bar{x} = 0.52$  pupae/leaf) (Fig. 1). During the first half of the dry season, (January-February), the levels of *B. tabaci* infestation observed were the lowest, with a mean inferior to  $\bar{x} = 0.06$  pupae/leaf. However, at the end of the dry season (April-May) we observed an augmentation in the number of pupae/leaf ( $\bar{x} = 2.21$  pupae/leaf) (Fig.1).



**Figure 1.** Relation between the mean number of *B. tabaci* pupae by leaf and the rainfall (mm), in tomato culture, Estelí, Nicaragua, 2001-2002.

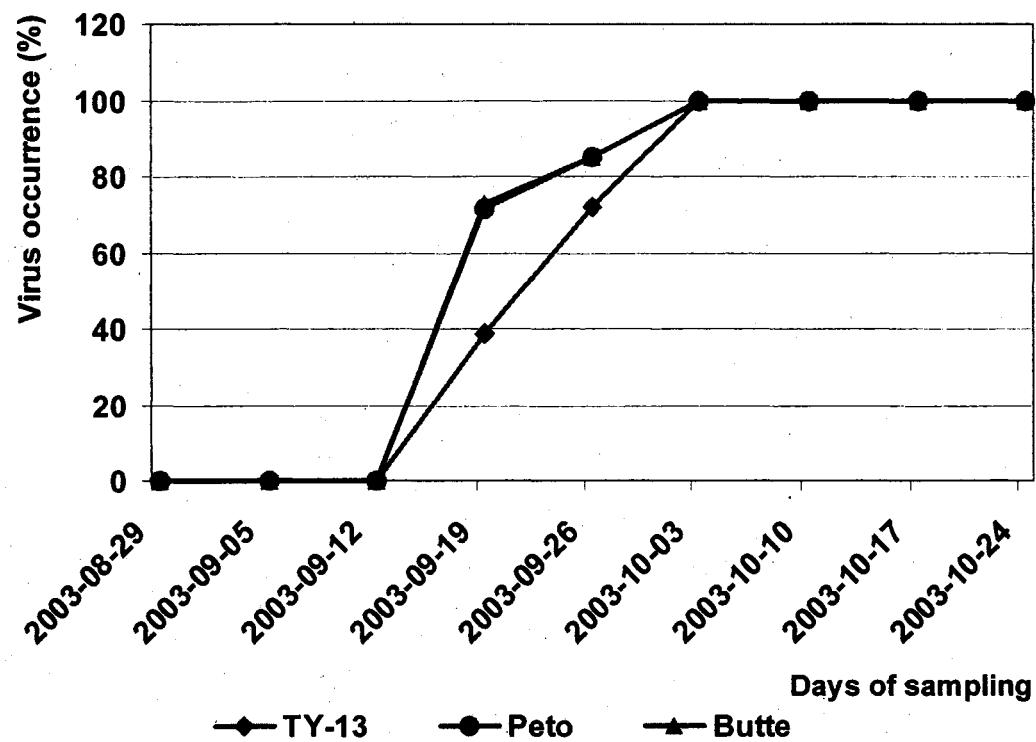
*Parasitism of *B. tabaci*.* The parasitoids appeared after the eighth week of plant development. The rates of parasitism ranged from 7 to 11% during the rainy season. However it increased 44 and 21% during the start and end of the dry season respectively. In our observations, two parasitoid species were found during the rainy season: *Encarsia pergandiella* Howard and *Encarsia nigriceps* Dossier (Fig.2), and only *E. pergandiella* was found during the dry season.



**Figure 2.** Relation between the mean number of the *B. tabaci* pupae by leaf and the number of the *Encarsia* spp. /32 leaves in tomato culture, Estelí, Nicaragua, 2001-2002.

#### *Experiment 2: Evaluation of cultivars resistance to geminivirus.*

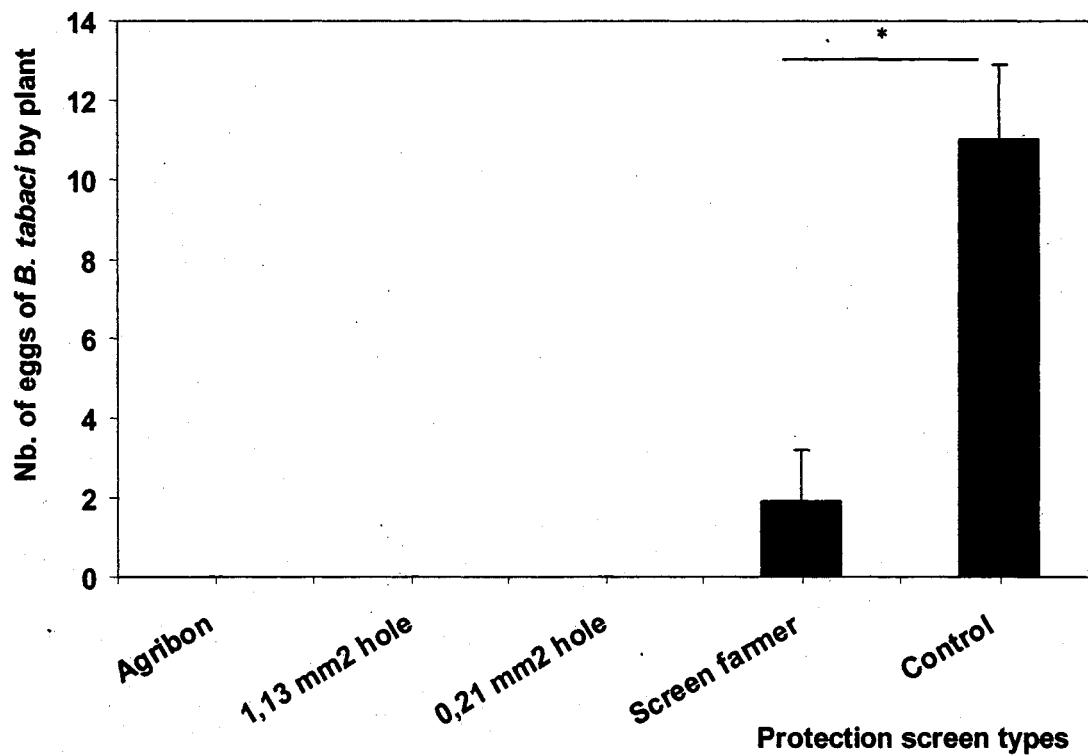
During the first 42 days of development the plants showed an absence of the symptoms of virus. The appearances of virus symptoms occurred when the plants had 47 days of development. The TY-13 cultivar showed a smaller virus occurrence with regard to the other cultivars, this difference stayed constant during two weeks (Fig. 3). To the 68 days of development, the total of plants of the study presented virus symptoms (Fig. 3).



**Figure 3.** Virus occurrence according to the tomato cultivar and the time of appearance of symptoms. Esteli, Nicaragua, 2003.

*Experiment 3: Evaluation of protection screen, against Bemisia tabaci in tomato nursery.*

All screens gave a significant protection to the plants with regard to control ( $F= 47.2$ ,  $P < 0.0001$ ). Although not significant difference was observed, the screen used traditionally by the farmers cannot prevent totally the passage of the whitefly to the plants (Fig. 4) and the *agribon* screen, elaborated with overlapped fibers, did not allow an adequate passage of light resulting in etiolate plants and a major fragility at the time of the transplantation.



**Figure 4.** Number of eggs of *B. tabaci* an according to different protection screen types. Estelí, Nicaragua. Asterisk show significant differences ( $P= 0.0005$ ).

*Experiment 4. Development and Evaluation of IPM program against whiteflies.*

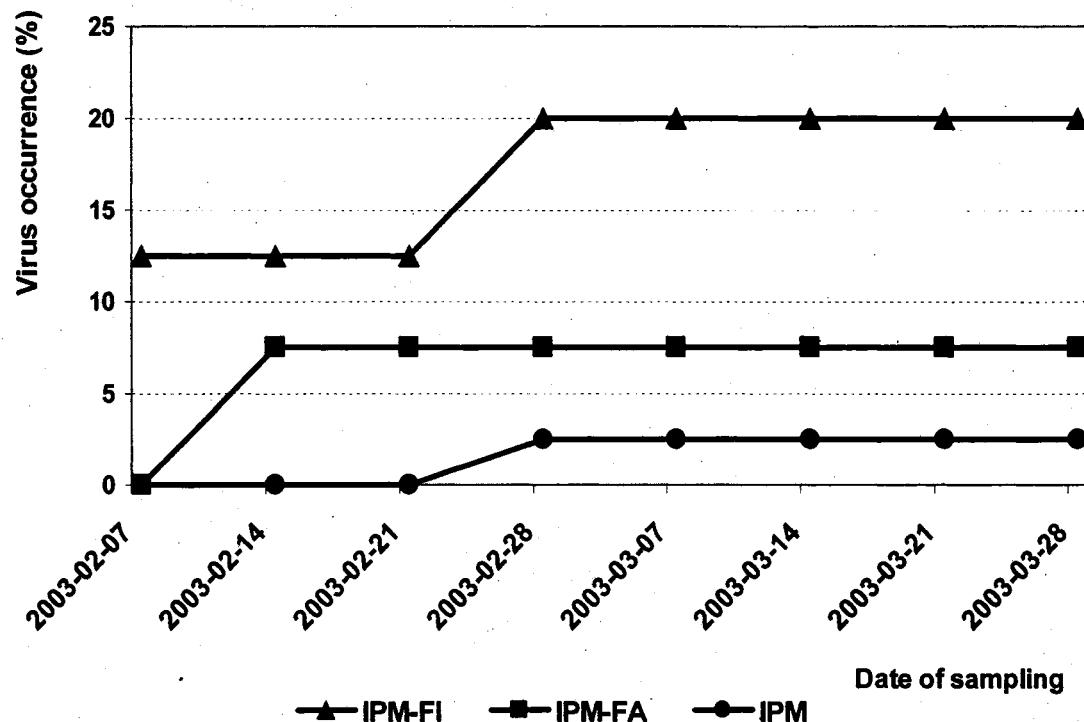
*1- Design of the program.* The program must be essentially preventive, aiming to delay the inoculation of *B. tabaci*-borne viruses, as long as possible. This approach may have a positive effect on the production. The precautions to be taken are 1) to ascertain to transplant the plants free of virus, and 2) to give an additional plant protection in the field by integrated practices minimizing the probability of inoculating during the critical period (first eight weeks of tomato plant development).

The IPM program was based fundamentally on five components: *Genetic control*; using of cultivar TY-13 which demonstrated a smaller susceptibility to the geminivirus and a delay of two weeks in the appearance of virus symptoms in relationships to the other cultivars evaluated. *Cultural control*; seedling the tomato seeds in paper pots for maintaining the plants 30 days in the nursery and consequently reducing the stress during the rooting in the field. *Physical control*; protecting in the nursery up to 30 days with antivirus screen with  $0.21 \text{ mm}^2$  size of hole opening.

*Chemical control*; when the screen is retreated from the nursery for the transport plants to the field, applicating Imidacloprid [1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-*N*-nitroimidazolidin-2-ylideneamine] directed to the base of the plants, which provide an additional protection of two weeks in the field. *Biological control*; starting the culture in the field in November-December, period when the density of *B. tabaci* is low and the rate of natural parasitism of the whiteflies is high.

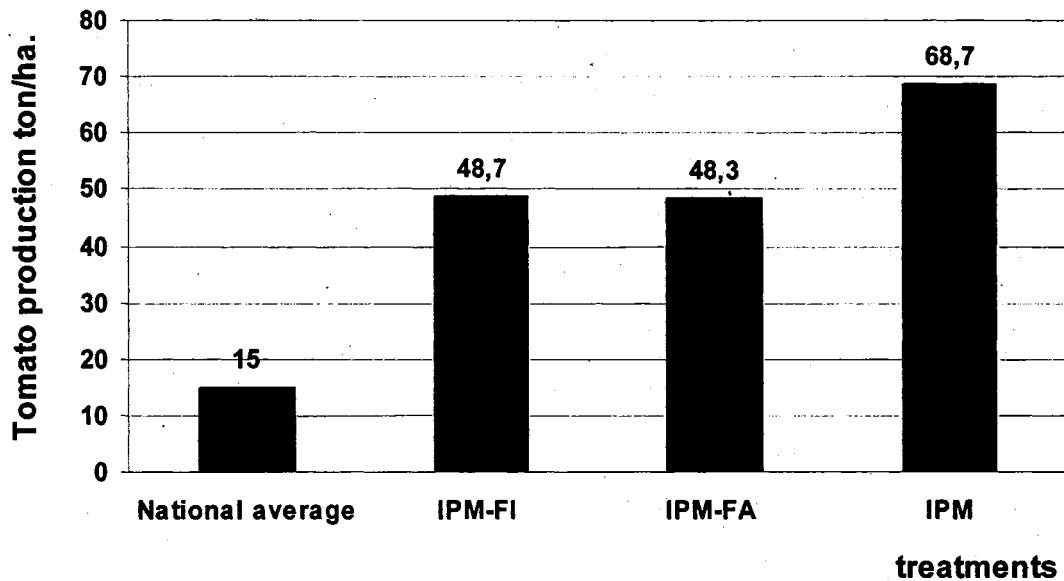
## *2-Evaluation of the integrated whitefly management program in fields*

The early presence of the virus symptoms in the first three week after transplant were of 12.5, 7.5 and 0% respectively for the IPM free-insecticide (IPM-FI), IPM with insecticide farmer approach (IPM-FA) and IPM program. From the fourth week the virus occurrence stabilized until harvest to 20, 7.5 and 2.5% for IPM-FI, IPM-FA and IPM, respectively (Fig. 5).



**Figure 5.** Virus occurrence an according to the program and the time of plants development. Integrated pest management program (IPM), integrated pest management program free-insecticide (IPM-FI) and integrated pest management program with insecticide farmer approach (IPM-FA), Estelí, Nicaragua, 2003.

The production of fruits was equivalent to 68700 kg/ha for the IPM, 48700 kg/ha for the IPM-FI and 48300 kg/ha for the IPM-FA. The Nicaraguan average production (15000 kg. kg/ha.) was estimated in 2001 by Departamento de Servicios Técnicos de apoyo (DSTA).



**Figure 6.** Tomato production. Integrated pest management program (IPM), integrated pest management program free-insecticide (IPM-FI) and integrated pest management program with insecticide farmer approach (IPM-FA), compared with Nicaraguan national average. Estelí, Nicaragua, 2003.

The relationship of costs/benefits in the IPM, IPM-FI, IPM-FA and the Nicaraguan national management were of 8.02, 6.57 and 5.73 american dollar (\$US) respectively for one dollar invested, while the benefit average of a Nicaraguan producer in 2001, was \$ US 0.91 (Table 1).

**Table 1.** Relationship costs/benefits according to the programs and the Nicaraguan tomato farmer management.

Program	Benefits (\$ US./ha.)	Costs (\$ US./ha.)	Utility (\$ US./ha.)	Relationship costs/benefits
Nicaraguan management	3303	1722	1581	1: 0.91
IPM-FI	10741	1419	9322	1: 6.57
IPM-FA	10645	1581	9064	1: 5.73
IPM	15140	1665	13474	1: 8.02

#### IV.6 Discussion

The efforts, in the last 15 years, to validate technologies for the control of *B. tabaci* have not been able to generate significant changes for producers of north Nicaragua. It is possible that during those years, many of the proposed control methods failed because *B. tabaci* was in epidemic phase. However, the massive use of synthetic insecticides, despite their absence of effectiveness, continues to be the only strategy available to the producers (Nunes et al. *in press*, chapter 1).

The IPM program presented in this study is efficient during the year of test because it generates a low rate of virus; it is environmentally safe, not requiring applications of insecticides in the field, allowing the conservation of the natural enemies and reducing the contamination and finally it is easy to use, because it saves numerous working hours of insecticide applications. It is economically, because it allows an harvest four times larger than the national mean yield and a costs/benefits relationship of \$ US 8.02 for each dollar invested, while the benefit average of a Nicaraguan tomato farmer in 2001 was only \$ US 0.91.

This program, ready to be used in the Nicaraguan dry tropic, is based on the principle of slowing, the time the inoculation by geminivirus in order to preserve the crop as long as possible from virus damages.

The high yield obtained in the IPM program is explained by: 1) transplanting the young tomato plants without virus. The free-virus tomato plants is assured by covering the tomato nursery with a screen with a hole the  $0.21\text{ mm}^2$ , creating a physical barrier against the viral vector. Because all practice aiming to delay the inoculation of the geminivirus have a positive effect, the young plants were kept in the nursery one week more than the recommended period (this was 30 days).

In order to reduce the stress of the plants with 30 days of development, the seedling in the nursery was made in paper pots, allowing the transplantation of the young plants in the field directly in paper pots, and consequently generating a lesser of stress for the plants and a better rooted system comparing to the traditional transplantation of naked roots plants.

When the plants were ready to be taken to the field, at 30 days old, the screen was retreated from the nursery and an imidacloprid application was made directly at the base of the plants, providing an additional protection in the field for two to three weeks.

The transplantation was done at the beginning of the dry season, (November to January) because the populations of *B. tabaci* (fig. 1) are lowest in this period and parasitism rates by *Encarsia pergandiella* and *E. negricephala* are highest (44%), main natural enemies reported in the region (Nunes et al. *in press*, chapter 2).

Considering the period of protection in the nursery of 4.5 weeks and adding 2.5 weeks more by insecticide imidacloprid, plants were kept free of virus until seventh weeks, period where the plants were blooming and started fructification. In our program, the vulnerability of plants to inoculation by virus started at this time. However this vulnerability was reduced by 1) the low density of the vector at the beginning of the dry season (fig. 1), and 2) the use of the tolerant cultivar TY-13 (fig.3), that slowed the appearance of virus symptoms for approximately 20 days. Under the IPM program, the beginning of virus symptoms was manifested between the ninth and tenth week of development, period when the fruits were formed and the impact of the virus was less important.

In conclusion, this program illustrates the possibility to design an IPM strategy, economically, environmentally and socially acceptable even in the presence of a pest-virus complex, generating very low economic threshold (two whiteflies by tomato nursery) (Luko Hilje, 2002, *com pers*).

#### **IV.7 Acknowledgments**

We thank David Ernesto Andara, Francisca Mabell Blandon, Exon José Rodríguez, Maynord Fabricio Sosa, David Antonio Aroca, Eric Alexander Hernández, Wilmor Blandón Aráuz, Marlon Alberto Castillo, Marling de Jesus Herrera, Harold Iván Amador, Ivania Lisseth Arcia, Basilio Ramon Herrera and Mayra del Carmen Gutierrez for assisted in the execution of the Experiments, Entomology section of Centro de Investigación en Protección Vegetal belonging Universidad Católica Agropecuaria del Trópico Seco, Estelí, Nicaragua for Experimental conditions, for the corrections of the manuscript and the team of research of the biological control laboratory of the Université du Québec à Montreal.

#### **IV.8 Literature Cited**

Brown, J.K. 1994. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agro-ecosystems worldwide. FAO Plant Prot. Bull. 42: 3-32.

Cave R: D. 1995 Manual para el reconocimiento de parasitoïdes de plagas agrícolas en América Central. Zamorano, Honduras: Zamorano Academia Press 202 pp.

Dittrich, V; and Ernst, S.G.H. 1990. Chemical control and insecticide resistance of whiteflies. pp. 263-285. In: D. Gerling (ed.) Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. Intercept Ltd., Andover, UK.

- Horowitz, A.R. and Ishaaya, I. 1996. Chemical control of *Bemisia*-Management and applications. In. *Bemisia* 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management. D. Gerling and R.T. Mayer (eds.). Intercept, United Kingdom. p. 537-556.
- Morales, F.J. and Anderson, P.K. 2001. The emergence and dissemination of whitefly transmitted geminiviruses in America Latina. Archives of Virology 146: 415-441.
- Perring, T.M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop Prot. 20:725-737.
- Polaszec A.; Evans GA and Bennett 1992 *Encarsia* parasitoids of *Bemisia tabaci* (Hymenoptera: Aphelinidae, Homoptera: Aleyrodidae): a preliminary guide to identification. *Bull. Entomol. Res.* 82, 375-392.
- Prabhaker, N; Coudriet, D.L; Meyerdirk, D.E. 1985. Insecticide resistance in the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Appl. Biol. 3: 664-671.
- Swezey, S.L., Murray, D.L. and Daxl, R.G. 1986. Nicaragua's revolution in pesticide policy. Environment 28: 29-36.
- Varela, G. 1995. Reporte de Nicaragua. *CEIBA* (Honduras) 36, 25-27.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Depuis l'identification du biotype B de *B. tabaci*, au milieu des années 80, les producteurs maraîchers d'Amérique tropicale, plus particulièrement ceux de tomates sont confrontés à d'importantes pertes de récoltes qui remettent en question la culture même.

La réponse commune des agriculteurs continue à être l'emploi massif d'insecticides à des coûts considérables et sans les résultats escomptés. Malgré les efforts dans la compréhension du problème, et la génération de stratégie de lutte contre la mouche blanche, les producteurs de tomates continuent à ne pas pouvoir éviter les dommages causés par ce ravageur.

La lutte contre le complexe mouche blanche-geminivirus dans la culture de tomate est difficile et coûteuse. Actuellement, il n'y a pas de lignées résistantes au vecteur ou aux geminivirus (Polston et Anderson 1997). De plus, *B. tabaci* continue à développer rapidement de la résistance aux insecticides, même aux nouveaux produits (Cahill et al. 1996, Denholm et al. 1996, Horowitz Ishaaya, 1996; Elbert et Nauen 2000 et Palumbo et al. 2001).

Les petits producteurs maraîchers d'Amérique centrale, ont un besoin urgent de pouvoir compter sur des stratégies ou méthodes de lutte efficaces contre *B. tabaci*. Plusieurs études ponctuelles, peu souvent publiées, ont été faites en Amérique centrale, mais aucune intégration n'a été faite pour aboutir à un programme de lutte sous une approche épidémiologique, économique et sociale, qui considère l'hôte, le vecteur, les *Begomovirus*, leurs ennemis naturels, les facteurs environnementaux du climat tropical sec nicaraguayan et le producteur.

L'originalité de cette thèse était d'établir différentes études qui, une fois combinées, nous permettraient l'élaboration d'un programme de lutte efficace et économique.

Le présent travail intègre des données sociales, économiques et écologiques pour aboutir à un programme de lutte intégrée qu'utilise la lutte chimique de façon raisonnée.

Le premier chapitre a permis d'obtenir un panorama actualisé des connaissances et des méthodes de lutte contre *B. tabaci* par les producteurs nicaraguayens après 14 ans d'efforts pour générer et promouvoir des stratégies de lutte contre cet important fléau. Aucun sondage de cette magnitude n'avait encore évalué les connaissances et pratiques des producteurs maraîchers du nord du Nicaragua sur la mouche blanche et les méthodes de lutte utilisées.

Dans le sondage, plusieurs points intéressants ont été mis en évidence permettant ainsi de justifier et entreprendre des études qui aboutissent à de nouvelles méthodes ou stratégies de lutte contre *B. tabaci*. Quelques-uns de ces points sont : 1) malgré tous les efforts entrepris par l'état et les organismes non gouvernementaux de développement, les producteurs maraîchers continuent à supporter d'importantes pertes de récolte au point d'abandonner la culture de la tomate; 2) malgré une indéniable capacité des producteurs à bien identifier la mouche blanche, peu sont ceux qui peuvent différencier les symptômes des geminivirus transmis par *B. tabaci* avec celles des maladies fongiques ou bactériennes. Ceci empêche la bonne compréhension du problème de la part des producteurs. Malgré les efforts faits durant les dernières années pour changer la lutte exclusivement chimique contre la mouche blanche, seuls cinq des 278 interviewés ont associé la problématique de *B. tabaci* à des approches comme la résistance aux insecticides, la manque de connaissance sur l'insecte et à la présence des plantes-hôtes, trois aspects importants à prendre en considération dans la lutte intégrée. 3) Neuf sur dix agriculteurs utilisent

exclusivement des insecticides de synthèse, et dans la moitié des cas ils appliquent des produits à action faible ou nulle contre *B. tabaci*.

Le second chapitre de cette thèse a permis d'établir les différents niveaux d'infestation de *B. tabaci* sur trois cultures maraîchères : courge, tomate et poivron, et d'autre part de caractériser la guilde des parasitoïdes de *B. tabaci* en zone de tropicale sèche ainsi que les niveaux de parasitisme, en vue de l'élaboration d'un programme de lutte intégrée. Au cours des premières trois semaines d'échantillonnage durant la saison pluvieuse, les niveaux d'infestation par *B. tabaci* étaient élevés dans les trois cultures, diminuant par la suite. La diminution du nombre de larves de mouches blanches par feuille peut-être due au vieillissement des plantes qui entraînerait la migration des mouches blanches vers d'autres plantes-hôtes plus jeunes et plus vigoureuses (Gerling 2002, Van Lenteren et Noldus 1990) et par les fortes précipitations (Hilje 1995). En dépit de la croyance locale, les densités de mouches blanches au début de la saison sèche sont demeurées basses par rapport à la saison pluvieuse.

*Encarsia pergandiella* Howard et *E. nigricepsala* Dozier sont les espèces de parasitoïdes natifs les plus importantes de *B. tabaci* dans les cultures de courges, de tomates et de poivrons, suivis par *Amitus* sp. et *E. desantisi* en culture de poivron. Le nombre des parasitoïdes demeure stable durant les saisons pluvieuse et sèche. Cependant, étant donnée la faible densité de mouches blanches au début de la saison sèche, la pression de parasitisme augmente, ce qui se traduit par une augmentation significative des taux de parasitisme enregistrés durant la saison sèche (entre 42 et 57%) par rapport à la saison pluvieuse (entre 10 et 17%). Ce phénomène a été également observé par Bográn et al. (1998) au Honduras. Il semblerait donc que les parasitoïdes impliqués ne soient pas densité-dépendants.

Dans l'étude, plusieurs points intéressants ont été obtenus permettant ainsi de déterminer le moment propice de mise en champs de plantules en fonction de la fluctuation de population des mouches blanches et des parasitoides.

Le troisième volet de l'étude avait pour but d'évaluer le rôle des trichomes foliaires dans le choix de ponte de la mouche blanche sur trois plants hôtes, ainsi que l'effet de la pubescence sur la prédation de *B. argentifolli* par la chrysope *Chrysoperla externa* (Hagen). L'objectif de l'étude était de déterminer si la présence ou l'absence des trichomes jouerait un rôle potentiel de résistance contre la mouche blanche ainsi que sur leur principal prédateur à être utilisé lors d'un programme de lutte intégrée au Nicaragua. Les résultats de l'étude démontrent clairement une préférence de *B. argentifolli* à pondre sur des surfaces pubescentes. L'étude révèle également que le prédateur *C. externa* a plus de difficulté à rencontrer les proies et à se nourrir sur des feuilles présentant une haute densité de trichomes. L'étude soulève l'importance des trichomes dans le choix de la mouche blanche pour une plante hôte lui fournissant une zone libre d'ennemis naturels; tel que définie par Jeffries et Lawton (1984). En effet, les larves de mouches blanches sont significativement moins susceptibles à la prédation sur de surfaces foliaires pubescentes. Il est donc impératif de considérer la pubescence foliaire du cultivar choisié dans le contexte de la lutte intégrée. Un cultivar glabre ou avec une faible densité des trichomes aurait un effet combiné positif sur la lutte biologique et la résistance du plant contre *Bemisia*.

Finalement, dans le quatrième et dernier chapitre de cette thèse se présente une série des travaux qui, combinés aux études déjà mentionnées ont abouti au développement d'un programme de lutte intégrée contre la mouche blanche, en tomate au Nicaragua. Le programme est basé sur les fluctuations annuelles de *B. tabaci* et des ennemis naturels, sur l'évaluation de cultivars tolérants aux geminivirus et sur l'évaluation des différentes mailles de protection des pépinières. Les connaissances acquises ont été utilisées stratégiquement lors de l'élaboration du programme. Compte tenu du fait que les virus sont incurables, le programme a pris un aspect essentiellement préventif, visant à prévenir l'inoculation précoce des virus et à limiter ainsi leur dissémination. Étant donné que la période critique d'inoculation de virus se situe dans les premiers 50 jours du développement végétatif, la phase de

pépinière, protégés par maille, est prolongée. Une fois la date de transplantation arrivée, une application d'insecticide systémique (nitroguanidine) a été réalisée, visant à fournir aux plants une protection supplémentaire. La date de transplantation a été sélectionnée en fonction du patron annuel de fluctuation de densité de *B. tabaci* et de la présence des parasitoïdes naturels. Ceci a eu pour effet de réduire au maximum la possibilité d'infection en champs. Finalement, un cultivar T-13, présentant une certaine tolérance aux *Begomovirus* (retard dans l'apparition de symptômes) a été sélectionné.

Le programme a été validé en champ pendant une année. Les résultats obtenus ont permis d'aboutir avec un programme qui intègre la lutte génétique, physique, chimique, biologique et culturelle. Il a permis d'augmenter de plus de quatre fois la récolte de tomates par rapport à la moyenne nationale et d'obtenir un ratio coût/bénéfice de 1: 8.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude nous permettent de proposer un programme d'application facile et plus respectueux de l'environnement dû à ce qu'il ne fait pas appel à des applications systématiques d'insecticides en champ, avec les avantages qu'impliquent la protection des ennemis naturels et la réduction des contaminants. Finalement le programme élaboré et validé *in situ* permet l'obtention de hauts rendements donnant l'espoir aux producteurs maraîchers du nord nicaraguayen de rétablir la culture de tomate, virtuellement disparue de nos jours et si importante dans les systèmes de production des petits agriculteurs.

### *Suite au présent projet*

*L'auteur de la présente thèse vient de signer une entente avec l'organisation de coopération OXFAM-Québec, dans le cadre du projet « Eau, culture et agriculture au Nicaragua », qui permettra de former les techniciens des organisations et coopératives agricoles de la région à la mise en place du programme décrit dans la présente thèse. À cette occasion, le programme suivi par des techniciens nicaraguayens, sera validé par les agriculteurs de six municipalités du tropique sec nicaraguayan, à savoir Pueblo Nuevo, Condega, Esteli, San Juan de Limay, la Trinidad et San Nicolas..*

*Le programme sera également évalué sur le poivron, deuxième culture maraîchère d'importance économique, également affectée par le complexe B. tabaci-geminivirus.*

## BIBLIOGRAPHIE

Agrios, G.N. 1997. Plant Pathology. Fourth edition. Academic Press, San Diego, California. 635 pp.

Anderson, P. K.; Hamon, A.; Hernandez, P. and Martin, J. 2005. Reproductive crop hosts of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Latin America and the Caribbean. p 243-250 in: Whitefly and Whitefly-borne viruses in the Tropics: Building a knowledge base for global action. (eds) Anderson, P. K. and Morales. F. J. Cali. Co.: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 351 p.

Argüello-Astorga, G., Guevara-González, R.G, Herrera-Estrella, L.R. et Rivera-Bustamante, R.F. 1994. Geminivirus replication origins have a group-specific organization of iterative elements: A model for replication. *Virology* **203**, 90-100.

Alvarez, P. A., and Abud-Antún, A. J. 1995. Reporte de República Dominicana. *CEIBA* (Honduras) **36**, 39-47.

Bedford, I. D., P. G. Markham, J. K. Brown, and R. C. Rosell. 1994. Geminivirus transmission and biological characterization of whitefly (*Bemisia tabaci*) types from different world regions. *Annals of Applied Biology*. **125**, 311–325

Bethke, J.A.; Paine, T.D.; Nuessly, G.S. 1991. Comparative biology, morphometrics, and development of two populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on cotton and poinsettia. *Annals of the Entomological Society of America* **84**, 407-411.

- Blackmer, J.L.; Byrne, D.N. 1993. Environmental and physiological factors influencing phototactic flight of *Bemisia tabaci*. *Physiological Entomology* **18**, 336-342.
- Bellows Jr., T. S., T. M. Perring, R. J. Gill, and D. H. Headrich. 1994, Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae): *Annals of the Entomological Society of America*. **76**, 310-313.
- Bink-Moenen, R.M.; Mound, L.A. 1990. Whiteflies: Diversity, biosystematics and evolutionary patterns. In Whiteflies: Their bionomics, pest status and management. D. Gerling (ed.). Athenaeum Press, New Castle, UK. p. 1-12.
- Bird, J., Brown, J. K., Sosa, M., and Nazario, G. M. 1995. Reporte de Puerto Rico. *CEIBA* (Honduras) **36**, 37-38
- Bogran, CE; Obrycki, JJ; Cave, R. 1998. Assement of biological control of *Bemisia tabaci* (homoptera: Aleyrodidae) on common bean in Honduras. *Florida Entomologist*. **81**, 384-393.
- Brown, J.K. 1997. The biology and molecular epidemiology of the Geminiviridae Subgroup III. In: Stacey G, Keen NT (eds) Plant-Microbe Interactions Volume III. Chapman and Hall, New York, pp 125-195.
- Brown, J.K. 1994. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant and virus vector in agro-ecosystems worldwide. FAO *Plant Protection Bulletin*. **41**, 3-32.
- Brown, J.K.; and Bird, J. 1992. Whitefly-transmitted geminiviruses in the Americas and the Caribbean Basin: Past and present. *Plant Disease* **76**, 220-225.

- Brown, J.K., and Czosnek, H. 2002. Whitefly transmission of plant viruses. *Advances in Botanical Research* **36**, 65-100.
- Brown, J.K.; Frohlich, D.R.; Rosell, R.C.C. 1995b. The sweetpotato or silverleaf whiteflies: Biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? *Annual Review of Entomology*. **40**, 511-534.
- Brown, J.K.; Bedford, I.D.; Bird, J.; Costa, H.S.; Frohlich, D.R.; Markham, P.G. 1995a. Characterization and distribution of esterase electromorphs in the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). *Biochemical Genetics* **33**, 205-213.
- Buitrago, N. A.; Cardona, C.; Acosta, A. 1994. Niveles de resistencia a insecticidas en *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae), plaga del frijol Común. *Revista Colombiana de Entomología*. **20**, 109-114.
- Bull, S.E., Tsai, W.S., Briddon, R.W., Markham, P.G., Stanley, J. and Green, S.K. 2004. Diversity of begomovirus DNA  $\beta$  satellites of non-malvaceous plants in east and south east Asia. *Archives of Virology* **149**, 1193-1200.
- Butler, G.D. Jr.; Henneberry, T.J.; Hutchinson, W. D. 1986. Biology, sampling and population dynamics of *Bemisia tabaci*. *Agricultural Zoology Reviews* **1**, 167-195.
- Byrne, D.N.; Bellows, T.S., Jr. 1991. Whitefly biology. *Annual Review of Entomology* **36**, 431-457.

- Byrne, D.N.; von Bretzel, P.K. 1987. Similarity in flight activity rhythms in coexisting species of Aleyrodidae, *Bemisia tabaci* (Gennadius) and *Trialeurodes abutilonea* (Haldeman). *Entomologia Experimentalis et Applicata* **43**, 215-219.
- Caballero, R.; Rueda A. 1993. Las moscas blancas en Honduras. In Las Moscas Blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en America Central y El Caribe. Hilje, L.; Arboleada, O. Eds. Turrialba, Costa Rica. CATIE. p. 50-53.
- Cahill, M.; Gorman, K.; Kay, S.; Denholm, I. 1996. Baseline determination and detection of resistance to imidacloprid in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research*. **86**, 343-349.
- Cahill, M.; Denholm, I.; Byrne, F. J.; Devonshire, A. L. 1996b. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci*: Current status and implications for management. In: Procs. 1996 Brighton Crop Prot. Conf. p. 75-80.
- Cardona, C.; Rendon, F.; Rodriguez, I. 1998. Chemical control and insecticida resistance of whiteflies in the Andean zone: A progress report. In: Procs. International Workshop on *Bemisia* and geminivirus, 7-12 June 1998, San Juan, PR. p. 1-70.
- Cardona, C.; Rendon, F.; Garcia, J.; Lopez-Avila, A.; Bueno, J.; Ramirez, J. 2001. Resistencia a insecticidas en *Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia y Ecuador. *Revista Colombiana de Entomología*. **27**, 33-38.

- Cave, R. d. 1996. Parasitoides y depredadores. In: Metodologias para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. (ed.) Luko Hilje. Turrialba, C.R. CATIE. Unidad de Fitoprotección p. 69-76.
- Christiansen, I.; deBarro, P.; Gunning, R.; Wilson, L.; Nelly, D. et Pyke, B. 2002. Whitefly in cotton. Cotton CRC Information Update. 3 p.
- Cohen, S.; ben Joseph, R. 1986. Preliminary studies of the distribution of whiteflies (*Bemisia tabaci*), using fluorescent dust to mark insects. *Phytoparasitica* **14**, 152-153.
- Costa, A.S. 1976. Whitefly-transmitted plant diseases. *Annual Review of Phytopathology* **14**, 429-449.
- Costa, H. S., J. K. Brown, S. Sivasupramaniam, and J. Bird. 1993a, Regional distribution, insecticide resistance, and reciprocal crosses between the 'A' and 'B' biotypes of *Bemisia tabaci*: *Insect Science and Its Application*. **14**, 127-138.
- Costa, H. S., D. M. Westcot, D. E. Ullman, and M. W. Johnson. 1993b, Ultrastructure of the endosymbionts of the whitefly, *Bemisia tabaci* and *Trialeurodes vaporariorum*: *Protoplasma*. **176**, 106-115.
- Costa, H. S., D. M. Westcot, D. E. Ullman, R. Rosell, J. K. Brown, and M. W. Johnson. 1995, Morphological variation in *Bemisia* endosymbionts: *Protoplasma*. **189**, 194-202.

- Csizinszky, A. A., Schuster, D. J., and Kring, J. B. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. **120**, 778-784.
- DeBarro, P.J.; Driver, F. 1997. Use of RAPD PCR to distinguish the B biotype from other biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Australian Journal of Entomology* **36**, 149-152.
- Denholm, I.; Cahill, M.; Byrne, F. J.; Devonshire, A. L. 1996. Progress with documenting and combating insecticide resistance In: Gerling, D.; Mayer, R.T. (eds.). *Bemisia* 1995. Taxonomy, biology, damage, control and management. Inercept Ltd. Andover, Hants, GB. p. 577-603.
- Dittrich, V.; Ernst, H. 1990. Chemical control and insecticide resistance of whiteflies. In: Gerling, D.(ed.). Whiteflies: Their bionomics, pest status and management. Inercept Ltd. Andover, Hants, GB. p. 263-285.
- Eichelkraut, K.; Cardona, C. 1989. Biología, cría masal y aspectos ecológicos de la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae), como plaga del frijol común. Turrialba *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) **39**, 55-62.
- Elbert, A. et Nauen, R. 2000. Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticidas in southern Spain with special reference to neonicotinoids. *Pest Management Science*. **56**, 60-64.

- Fauquet, C.M., Bisaro, D.M., Briddon, R.W., Brown, J.K., Harrison, B.D., Rybicki, E.P., Stenger, D.C. et Stanley, J. 2003. Revision of taxonomic criteria for species demarcation in the family Geminiviridae, and an updated list of begomovirus species. *Archives of Virology* **148**, 405-421.
- Frohlich, D., I. Torres-Jerez, I. D. Bedford, P. G. Markham, and J. K. Brown. 1999, A phylogeographic analysis of the *Bemisia tabaci* species complex based on mitochondrial DNA markers: *Molecular Ecology*. **8**, 1593–1602.
- Gafni, Y. and Epel, B.L. 2002. The role of host and viral proteins in intra and intercellular trafficking of geminiviruses. *Physiological and Molecular Plant Pathology* **60**, 231-241.
- Gawel, N. J., and A. C. Bartlett. 1993, Characterization of differences between whiteflies using RAPD-PCR: *Insect Molecular Biology*. **2**, 33–38.
- Giordano, L.B.; Bezerra, I.C.; Ribeiro, S.G.; D'avila, A.C. 1996. Breeding tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) for resistance to whitefly-transmitted geminiviruses. In Int. Symp. Trop. Tomato Dis. (1, 1996 Recife, PE, Brazil), Conf summary.
- Gerling, D. 2002. Una reinterpretacion sobre les moscas blancas. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) **63**, 13-21.
- Gerling, D.; Horowitz, A.R.; Baumgaertner, J. 1986. Autecology of *Bemisia tabaci*. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **17**, 5-19.
- Greathead, A.H. 1986. Host plants. In *Bemisia tabaci-* A literature survey. M.J.W. Cock. (ed.) CAB Intl. Inst. Biol. Control. Silwood Park. UK. p. 17-26.

- Gutierrez, C. 2000. DNA replication and cell cycle in plants: learning from geminiviruses. *EMBO Journal* **19**, 792-799.
- Hamon, A. B., and V. Salguero. 1987, *Bemisia tabaci*, sweetpotato whitefly, in Florida (Homoptera: Aleyrodidae: Aleyrodinae): Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Division of Plant Industry, Entomology Circular 292.
- Harrison, B. D., and Robinson, D. J. 1999. Natural genomic and antigenic variation in whitefly-transmitted geminiviruses (Begomoviruses). *Annual Review of Phytopathology* **37**, 369-398.
- Heinz, K. M. et F. G. Zalom, 1996. Performance of the predator *Delphastus pusillus* on *Bemisia* resistant and susceptible tomato lines. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **81**, 345-352.
- Heinz KM, et FG. Zalom 1995. Variation in trichome-based resistance to *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) oviposition on tomato. *Journal of Economic Entomology*. **88**, 1494-1502.
- Hilje, L. 2001. Avances hacia el manejo sostenible del complejo *Bemisia tabaci*-geminivirus en tomate, en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) **61**, 70-81.
- Hilje, L. 1996. Metodología para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Luko Hilje, ed. Turrialba, C.R.:CATIE. 150 p.

- Hilje, L. 1995. Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. *Manejo Integrado de Plagas* (Costa Rica) **35**, 46-54.
- Hilje, L., et Arboleda, O. 1993. Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Serie Técnica. Informe Técnico No.205. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Hoelmer, K. A., Kira A. A. et Simmons G. S. (1999). An overview of natural enemy explorations and evaluations for *Bemisia* in the U.S. Pages 689-696, in Assoc. Nat. Prot. Plantes, 5th Internat. Conf. Pests in Agric, Montpellier, France.
- Horowitz, A. R. et Ishaaya, I. 1996. Chemical control of *Bemisia*-Management and application. In: Gerling, D.; Mayer, R.T. (eds.). *Bemisia* 1995. Taxonomy, biology, damage, control and management. Intercept Ltd. Andover, Hants, GB. p. 537-556.
- Hull, R. 2002. Matthews' Plant Virology. 4th edition. Academic Press, New York.
- Idris, A.M. and Brown, J.K. 1998. Sinaloa tomato leaf curl geminivirus: biological and molecular evidence for a new subgroup III virus. *Phytopathology* **88**, 648-657.
- Idris, A.M., Smith, S.E. et Brown, J.K. 2001. Ingestion, transmission, and persistence of Chino del tomate virus (CdTV), a New World begomovirus, by Old and New World biotypes of the whitefly vector *Bemisia tabaci*. *Annals of Applied Biology* **139**, 145-154.
- Jeffries MJ, and JH. Lawton. 1984. Enemy free space and the structure of ecological communities. *Biological Journal of the Linnean Society* **23**, 269-286.

- Kirk, A. A., L. A. Lacey, J. K. Brown, M. A. Ciomperlik, J. A. Goolsby, D. C. Vacek, L. E. Wendel, and B. Napompeth. 2000, Variation within the *Bemisia tabaci* species complex (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies leading to successful biological control of *Bemisia* biotype B in the USA: ). *Bulletin of Entomological Research*. **90**, 317–327.
- Lazarowitz, S.G. 1999. Probing plant cell structure and function with viral movement proteins. *Current Opinion in Plant Biology* **2**, 332-338.
- Maes, J. M. 2000. Insectos Asociados De Cultivos Tropicales (ed). Museo de Entomología de León, Nicaragua, versión CD-ROM.
- Markham, P.G.; Bedford, I.D.; Liu, S.; Frolich, D.R.; Rosell, R.; Brown, J.K. 1996. The transmission of geminiviruses by biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius). In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. D. Gerling and R.T. Mayer (eds.). Intercept, United Kingdom. p. 69-75.
- Martin, J. H. 1987, An identification guide to common whitefly pest species of the world (Homoptera, Aleyrodidae): *Tropical Pest Management*. **33**, 298–322.
- McKenzie, C. L.; P. K. Anderson et N. Villarreal. 2004. An Extensive Survey of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in Agricultural Ecosystems in Florida. *Florida Entomologist* **87**, 403–407.
- Moffat, A.S. 1999. Geminiviruses emerge as serious crop threat. *Science* **286**, 1835.

- Mohanty, A. K., and A. N. Basu. 1986, Effect of host plants and seasonal factors on intraspecific variations in pupal morphology of the whitefly vector, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae): *Journal of Entomological Research.* **10**, 19–26.
- Morales, F.J. and Anderson, P.K. 2001. The emergence and dissemination of whiteflytransmitted geminiviruses in America Latina. *Archives of Virology* **146**, 415-441.
- Mound, L. A. 1963, Host-correlated variation in *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae): Proc. R. Entomol. Soc. Lond., *General Entomology*. **38**, 171–180.
- Muniyappa, V., Maruthi, M.N., Babitha, C.R., Colvin, J., Briddon, R.W. and Rangaswamy, K.T. 2003. Characterization of pumpkin yellow vein mosaic virus from India. *Annals of Applied Biology* **142**, 323-331.
- Nakhla, M.K., Maxwell, M.D., Hidayat, S.H., Lange, D.R., Loniello, A.O., Rojas, M.P., Maxwell, C.P., Kitajima, E.W., Rojas, A., Anderson, P. and Gilbertson, R.L. 1994. Two geminiviruses associated with tomatoes in Central America. *Phytopathology* **84**, 1155.
- Nateshan, H.M., Muniyappa, V., Swanson, M.M. and Harrison, B.D. 1996. Host range, vector relations and serological relationships of cotton leaf curl virus from southern India. *Annals of Applied Biology* **128**, 233-244.
- Nunes, C et Davila, M. L. 2004. Taxonomía de las principales familias y Subfamilias de insectos de interés agrícola de Nicaragua. Managua, Ni. 164 p.

- Obrycki, J. J. et T. J. Kring, 1998. Predaceous Coccinellidae in biological control. *Annual Review of Entomology* **43**, 295–321.
- Ozgur, AF. et E. Sekeroglu, 1986. Population development of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleurodidae) on various cotton cultivars in Cukurova, Turkey. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **17**, 83–88.
- Palmubo, J.; Horowitz, A.; Prabhaker, N. 2001. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* **20**, 739–765.
- Perring, T.M. 2001. The *Bemisia tabaci* species concept. *Crop Protection* **20**, 725–737.
- Perring, T.M. 1996. Biological differences of two species of *Bemisia* that contribute to adaptive advantage. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. D. Gerling and R.T. Mayer (eds.). Intercept, United Kingdom. p. 1-16.
- Perring, T M.; Cooper, A.D.; Rodriguez, R.J.; Farrar, C.A.; Bellows, T S. 1993. Identification of a whitefly species by genomic and behavioral studies. *Science* **259**, 74-77.
- Polston, J. E.; et Anderson, P. K. 1997. The emergence of whitefly-transmitted geminiviruses in tomato in the western hemisphere. *Plant Disease* **81**, 1358–1369.
- Polston, J.E. et Anderson P.K. 1999. Surgimiento y distribución de geminivirus transmitidos por mosca blanca en tomate en el hemisferio Occidental. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica) No 53.

Polston, J.E.; Gilreath, P.; Schuster, D.J.; et Chellemi, D.O. 1994. Recent developments in tomato geminiviruses: A new virus and a new pesticide. In Proc. Fla Tomato Inst. C. S. Vavrina, Ed. University of Florida, IFAS, Vegetable Crops Special Series, PRO-105 p. 65-76.

Polston, J. E., Schuster, D. J., and Chellemi, D. O. 1993. Advances in the management of tomato mottle geminivirus. Pages 69-76 in: Proc. Fla. Tomato Inst. C. S. Vavrina, ed. University of Florida, IFAS, Vegetable Crops Special Series, PRO-105.

Polston, J. E., Chellemi, D. O., Schuster, D. J., McGovern, R. J., and Stansly, P. A. 1996. Spatial and temporal dynamics of tomato mottle geminivirus and *Bemisia tabaci* in Florida tomato fields. *Plant Disease*. **80**, 1022-1028.

Prakash, J. T.;Abeeluck, D. et Ganeshan, S. 1999. La mouche blanche, *Bemisia argentifolii*, un nouvel insecte ravageur de nos cultures maraîchères. PROSI Magazine, N° 368.

Price, J. F. 1987, Controlling a new pest: *Greenhouse Grower*. **570**, 72-73.

Ramos, P.L., Guevara-Gonzalez, R.G., Peral, R., Ascencio-Ibañez, J.T., Polston, J.E., Arguello-Astorga, G.R., Vega-Arreguin, J.C. and Rivera-Bustamante, R.F. 2003. Tomato mottle Taino virus pseudorecombines with PYMV but not with ToMoV: Implications for the delimitation of cis-and trans-acting replication specificity determinants. *Archives of Virology* **148**, 1697-1712.

Ribeiro, S.G., Ambrozevicius, L.P., Avila, A.C., Bezerra, I.C., Calegario, R.F., Fernandes J.J., Lima, M.F., de Mello, R.N., Rocha, H. and Zerbini, F.M. 2003. Distribution and genetic diversity of tomato-infecting begomoviruses in Brazil. *Archives of Virology* **148**, 281-295.

Rodríguez, I.; Morales, H.; Cardona, C. 2003. Líneas de base, dosis diagnostico y medición periódica de resistencia a insecticidas en poblaciones de adultos e inmaduros de *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae), en el Valle del Cauca, Colombia. *Revista Colombiana de Entomología*. **29**, 21-27.

Rojas, Aldo 2004. A complex of Begomoviruses affecting tomato crops in Nicaragua. Doctoral diss. Dept. of Plant Biology and Forest Genetics, SLU. *Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Agraria* vol. 492.

Rojas, A., Kvarneden, A., and Valkonen, J. P. T. 2000. Geminiviruses infecting tomato crops in Nicaragua. *Plant Disease*. **84**, 843-846.

Rosell, R. C., I. D. Bedford, D. R. Frohlich, R. J. Gill, P. G. Markham, and J. K. Brown. 1997, Analyses of morphological variation in distinct populations of *Bemisia tabaci*: *Annals of the Entomological Society of America*. **90**, 575-589.

Rowland, M., B. Ackett, and M. Stribley. 1991, Evaluation of insecticides in field-control simulators and standard laboratory bioassays against resistant and susceptible *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) from Sudan: *Bulletin of Entomological Research*. **81**, 189-199.

- Rubinstein, G. and Czosnek, H. 1997. Long-term association of Tomato yellow leaf curl virus (TYLCV) with its whitefly vector *Bemisia tabaci*: effect on the insect transmission capacity, longevity and fecundity. *Journal of General Virology* **78**, 2683-2689.
- Salas, J.; Mendoza, O. 1995. Reporte de Venezuela *CEIBA* **36**, 49-50.
- Saunders, K., Bedford, I.D., Yahara, T. et Stanley, J. 2003. The earliest recorded plant virus disease. *Nature* **422**, 831.
- Schuster, D. J. 1992. Report. *Bemisia News letter*. **5**, 1-3.
- Schuster, D. J., J. B. Kring, et J. F. Price. 1991, Association of the sweetpotato whitefly with a silverleaf disorder of squash: *HortScience*. **26**, 155-156.
- Schuster D. J.; Evans G. A.; Bennett F. D.; Stansly P. A.; Jansson R.K. and Leibee G. L. (1998) A survey of parasitoids of *Bemisia* spp. whiteflies in Florida, the Caribbean, and Central and South America. International. *Journal of Pest Management* **44**, 255-260.
- Schuster, D.J.; Mueller, T.E.; Kring, J.B.; Price, J.F. 1990. Relationship of the sweetpotato whitefly to a new tomato fruit disorder in Florida. *HortScience* **25**, 1618-1620.
- Schuster, D.J.; Stansly, R A.; Dean, D.G.; Polston, J.E.; Swanson, G.S. 1993. Progress toward a more sustainable pest management program for tomato. In Proc. Fla Tomato Inst. C.S. Vavrina, Ed. University of Florida, IFAS, Vegetable Crops Special Series, PRO-105. p 77—106

- Scott, J.W.; Stevens, M.R.; Barten, J.H.M.; Thome, C.H.; Polston, J.E.; Schuster, D.J.; Serra, C.A. 1995. Introgression of resistance to whitefly-transmitted geminiviruses from *Lycopersicon chilense* to tomato. In D. Gerling and R. T. Mayer, Eds. *Bemisia: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management*. Andover, Eng. Intercept. p. 357-367.
- Smith H. A; Evans G. A; et Mcsorley R. 2000 A survey of parasitoids of *Trialeurodes vaporariorum* and *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) in eastern Guatemala. *Florida Entomologist*. **83**, 492-496.
- Stanley, 2004. Subviral DNAs associated with geminivirus disease complexes. *Veterinary Microbiology* **98**, 121-129.
- Stenger, D.C., Duffus, J.E. and Villalon, B. 1990. Biological and genomic properties of a geminivirus isolated from pepper. *Phytopathology* **80**, 704.
- Sunter, G., Stenger, D.C. and Bisaro, D.M. 1994. Heterologous complementation by geminivirus AL2 and AL3 genes. *Virology* **203**, 203-210.
- Swezey, S.L., Murray, D.L. and Daxl, R.G. 1986. Nicaragua's revolution in pesticide policy. *Environment* **28**, 29-36.
- Vaquero, S. 1967. Urge eliminar problema de mosca blanca. La prensa Grafica, fevrier, El Salvador.
- van Lenteren, J. C. 2000. A greenhouse without pesticides: fact or fantasy? *Crop Protection*. **19**, 375-384.

- van Lenteren, J. C. and Woets, J.. 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Annual Review of Entomology*. **33**, 239–269.
- van Lenteren, J. C. et Noldus L. P. J. J. (1990) Whitefly-plant relationships: Behavioural and ecological aspects, pp. 47-89 In *Whiteflies: Their bionomics, pest status and management*. D. Gerling (ed.) New Castle, UK. Athenaeum.
- Varela, G. 1995. Reporte de Nicaragua. *CEIBA* (Honduras) **36**, 25-27.
- Varma, A. and Malathi, V.G. 2003. Emerging geminivirus problems: A serious threat to crop production. *Annals of Applied Biology* **142**, 145-64.
- Zeidan, M. and Czosnek, H. 1991. Acquisition of Tomato yellow leaf curl virus by the whitefly *Bemisia tabaci*. *Journal of General Virology* **72**, 2607-2614.
- Zhou, X.P., Xie, Y. and Zhang, Z.K. 2001. Molecular characterization of a distinct begomovirus infecting tobacco in Yunnan, China. *Archives of Virology* **146**, 1599-1606.