

AGROFORESTERIE ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN ZONE TROPICALE

Josiane Seghieri et Jean-Michel Harmand, coordinateurs



Chapitre 3

Régulation des bioagresseurs du caféier par le couvert arboré au Costa Rica

ALLINNE C., BOUDROT A., DE MELO E., GRANADOS E., MERLE I.,
PICO J., VONTHRON S. ET AVELINO J.

Résumé. Dans les systèmes agroforestiers, l'ombrage peut avoir des effets synergiques ou, au contraire, antagonistes sur l'expression des dégâts du complexe de bioagresseurs et des dommages associés. Les travaux présentés ont été réalisés dans des systèmes agroforestiers à base de caféiers au Costa Rica. Ils ont pour but d'illustrer les effets des interactions de l'ombrage à différents niveaux : avec le climat et l'environnement ; au sein même du cycle de vie d'un bioagresseur ; entre bioagresseurs du complexe parasitaire ; entre auxiliaires et bioagresseurs. L'effet de l'ombrage sur la fourniture de plusieurs services écosystémiques est également illustré. Nos résultats montrent que l'ombrage augmente la dispersion du pathogène *Hemileia vastatrix*, responsable de la rouille quand il pleut, alors qu'il la réduit quand il fait sec. L'ombrage favorise le processus pré-infectieux et la colonisation du caféier par la rouille, ainsi que sa régulation par son ennemi naturel, le champignon *Lecanicillium lecaniini*. Les effets de l'ombrage sont contraires selon le bioagresseur foliaire (deux basidiomycètes, deux ascomycètes et une larve de lépidoptère). Une approche « *multipest* » montre qu'un ombrage optimal permet de réduire l'impact total du cortège de bioagresseurs. Enfin, l'ombrage peut avoir des effets antagonistes selon les services écosystémiques, comme en réduisant directement la production mais en augmentant la régulation des bioagresseurs. L'étude des compromis de l'ensemble de ces services doit être réalisée afin de concevoir des systèmes permettant d'optimiser la régulation des bioagresseurs par l'intermédiaire l'ombrage.

Abstract. The shade cover on agroforestry systems can have synergic or antagonistic effects on the pest and disease (“bioagressor”) injury profile and the associated damages. The present study has been carried out in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica and aims to illustrate the effects of shade interactions at different levels: with climate/environment, within the life cycle of a bioagressor, between bioagressors of the parasitic complex, and/or between bioagressors and their natural enemies. The impact of shading on the provision of ecosystem services is also illustrated. Our results show that under shade, the dispersion of coffee rust is increased under rainy conditions, while it is reduced under dry

conditions. Shade promotes the pre-infectious process and the colonization of coffee by rust and at the same time its regulation by its natural enemy, *Lecanicillium lecaniini*. These effects are opposite according to the foliar pests and diseases, and our multipest approach makes it possible to demonstrate that optimal shading allows the reduction of the overall impact of foliar pests and diseases. Lastly, shading can have antagonistic effects depending on the ecosystem services, such as crop production and pest and disease regulation, and the study of trade-offs between all these services must be carried out in order to design systems which optimize pest and disease regulation via shading.

► Introduction

La présence d'arbres dans la parcelle ou dans le paysage peut avoir des répercussions sur l'état sanitaire de la culture. Les effets de cette présence varient en fonction des espèces d'arbres, des bioagresseurs ou de leurs ennemis naturels, de leurs traits d'histoire de vie et des environnements physiques (Ratnadass *et al.*, 2012).

La figure 3.1 illustre de manière simplifiée les différentes voies d'action de l'ombrage sur les composantes biotiques du système : les cortèges de bioagresseurs et de leurs ennemis naturels, ainsi que les caféiers (Avelino *et al.*, 2011 ; Damatta, 2004 ;

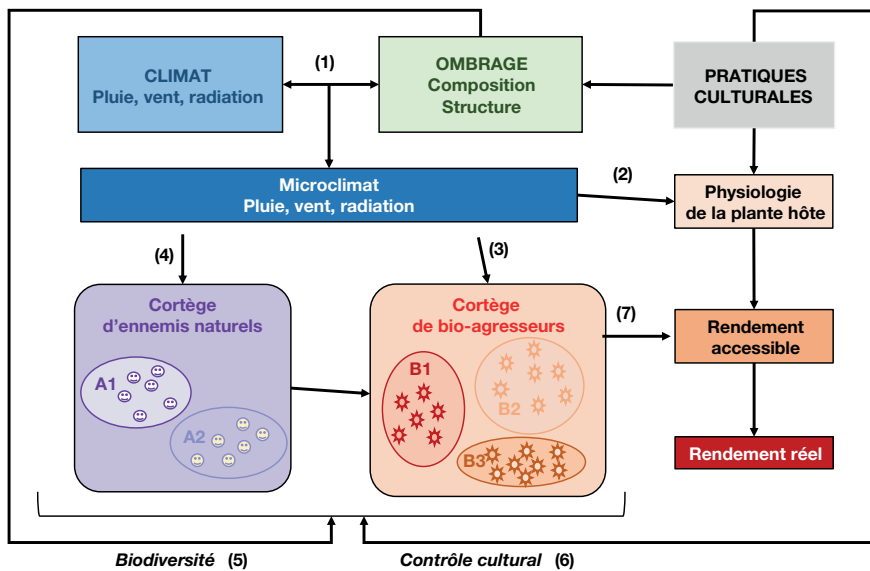


Figure 3.1. Représentation des différentes voies d'action de l'ombrage sur le cortège de bioagresseurs, les auxiliaires de culture et le rendement dans les systèmes agroforestiers à base de caféiers.

Déterminée par les pratiques, la présence d'arbres d'ombrage en interaction avec le climat détermine un microclimat (1). Ce microclimat affecte la physiologie du caféier (croissance, développement et phénologie) (2) qui détermine le rendement accessible (Rabbinge *et al.*, 1989), c'est-à-dire sans pertes liées aux bioagresseurs. Le microclimat impacte aussi le développement des bioagresseurs (3) et leurs ennemis naturels (4). L'ombrage peut également avoir un impact direct sur la présence de bioagresseurs et de leurs ennemis naturels en jouant le rôle d'hôte alternatif (5). Les pratiques influencent directement ces populations par les méthodes de contrôle utilisées (6). Enfin, l'impact des bioagresseurs, c'est-à-dire les pertes de rendement associées à l'ensemble des dégâts occasionnés par le cortège, détermine le rendement final (7).

Muller *et al.*, 2009; Schroth *et al.*, 2000; Staver *et al.*, 2001). Les effets peuvent être complexes. Il est possible d'observer des effets antagonistes à différents niveaux :

- des interactions avec l'environnement, lorsque l'ombrage conduit à réguler un bioagresseur, c'est-à-dire à contrôler son développement, mais en favorise un autre;
- au sein même du cycle de vie de certains bioagresseurs, en favorisant ou en défavorisant des processus physiologiques;
- sur diverses espèces de bioagresseurs et d'ennemis naturels;
- à une échelle plus large, il peut exister des effets antagonistes des arbres d'ombrage sur la fourniture de plusieurs services écosystémiques, notamment la régulation des bioagresseurs et la production agricole.

Le bilan général de ces effets est donc très difficile à définir *a priori*. En s'appuyant sur l'étude des systèmes agroforestiers à base de caféiers du Costa Rica et son cortège de bioagresseurs et de leurs ennemis naturels, nous avons développé différentes approches afin de :

- mettre en évidence d'éventuelles interactions entre l'ombrage et l'environnement;
- mieux comprendre les effets de l'ombrage sur les composantes biotiques des systèmes;
- identifier d'éventuels compromis entre services écosystémiques.

Dans ce chapitre, nous nous appuyons sur ces différentes études afin d'illustrer comment l'ombrage, en interaction avec d'autres composantes du système biophysique, peut réguler les bioagresseurs du caféier par des voies d'action différentes pouvant être parfois antagonistes.

Ombrage et régulation des bioagresseurs

Interactions de l'ombrage avec l'environnement, effets de l'ombrage sur la dispersion d'*Hemileia vastatrix*

Au sein du système agroforestier, les interactions sont complexes et nous supposons qu'elles peuvent influencer le développement des bioagresseurs et l'expression des dégâts (symptômes physiologiques provoqués par les bioagresseurs sur la plante) et des dommages (pertes de rendement induites par les dégâts). Il peut exister une interaction entre l'ombrage, le climat et l'environnement, c'est-à-dire qu'en fonction de la présence ou pas d'arbre d'ombrage, le climat influence de manière différente le développement des bioagresseurs.

Les travaux présentés ici, publiés en 2016 par Boudrot *et al.*, visent à étudier l'effet de l'ombrage sur la dispersion de la rouille orangée en comparant deux modalités d'ombrage :

- dans la première, sont associées deux espèces végétales d'ombrage, *Erythrina poeppigiana* et *Chloroleucon eurycyclum*;
- dans la seconde, la dispersion est évaluée sans ombrage, en plein soleil.

Pour étudier la dispersion de la rouille orangée, des pièges à spores Burkard ont été utilisés.

Nous avons mis en évidence des interactions entre l'ombrage et les conditions météorologiques pour la dispersion de *H. vastatrix*. Quand il pleut, les gouttes de

pluie, interceptées par les arbres d'ombrage, s'accumulent sur les feuilles. Cette eau est ensuite redistribuée dans la parcelle de caféiers sous forme de gouttes d'eau à plus forte énergie cinétique (Van den Meersche *et al.*, en révision). L'impact des gouttes sur les feuilles de caféier libère, pour cette raison, plus de spores sous ombrage qu'en plein soleil. Les rafales de vent annulent cet effet, probablement en empêchant l'eau de s'accumuler sur les feuilles des arbres d'ombrage. Quand il ne pleut pas, les rafales de vent favorisent la dispersion des spores en plein soleil, alors qu'elles n'ont aucun effet dans les conditions d'ombrage, probablement parce que la canopée des arbres intercepte le vent.

Ces résultats mettent en exergue l'importance de la gestion des arbres d'ombrage en fonction de la météorologie pour contrôler la dispersion des spores d'*H. vastatrix* : tailler les arbres d'ombrage pendant les périodes pluvieuses et les laisser s'étendre pendant les périodes sèches. Nos résultats permettent aussi d'identifier des traits d'intérêt des arbres d'ombrage pour éviter la dispersion d'*H. vastatrix*. En effet, il faut des arbres qui ne permettent pas une augmentation de l'énergie cinétique des gouttes d'eau : petite taille, grande surface spécifique des feuilles et feuilles découpées. L'approche développée dans cette étude, basée sur l'étude des traits fonctionnels des arbres d'ombrages pourrait être étendue à d'autres processus du cycle de vie d'*H. vastatrix*.

Effets contraires de l'ombrage au cours du cycle de vie d'un bioagresseur

Il s'agit de comprendre les effets contraires de l'ombrage pendant le cycle de vie d'un bioagresseur : l'incidence et la sévérité de la rouille orangée, la sporulation du pathogène *Hemileia vastatrix* et le parasitisme de *Lecanicillium lecanii* sur les lésions de rouille.

L'ombrage peut avoir des effets positifs ou négatifs selon les composantes affectées durant le cycle de vie d'un bioagresseur. Une étude réalisée en 2013 et 2014 sur la rouille du caféier illustre ce phénomène (Pico, 2014). Au cours de cette étude réalisée dans l'essai d'agroforesterie du Catie à Turrialba, et de gestion de la rouille (tab. 3.1) :

- l'incidence (pourcentage de feuilles atteintes, qui renseigne sur la dissémination de la maladie) ;
- la sévérité (pourcentage de surface foliaire atteinte, qui renseigne sur le développement de la maladie) de la rouille ;
- le parasitisme de la rouille par le champignon entomopathogène et mycoparasite *Lecanicillium lecanii*.

L'ombrage tend à augmenter le degré d'infestation de la rouille orangée, en favorisant à la fois sa propagation et son développement. En effet, les processus pré-infectieux, mesurés par l'incidence (nombre de succès de l'infection), ont été favorisés (germination et pénétration). La colonisation a également été favorisée, comme le montre l'augmentation de la sévérité. Ces tendances ont déjà été rapportées lors d'une étude où la charge fruitière en baies de café a été homogénéisée afin d'en supprimer l'effet (López-Bravo *et al.*, 2012), ce qui est le cas aussi ici.

Tableau 3.1. Description des traitements utilisés dans l'essai d'agroforesterie du Catie à Turrialba afin d'étudier l'effet de l'ombrage sur l'incidence et la sévérité de la rouille orangée du caféier.

Traitement	Type d'ombrage	Type de gestion	Niveau d'intrants
T1	<i>E. poeppigiana</i> <i>C. eurycyclum</i>	Biologique	Élevé
T2	<i>E. poeppigiana</i> <i>C. eurycyclum</i>	Biologique	Élevé
T3	<i>E. poeppigiana</i> <i>C. eurycyclum</i>	Conventionnelle	Faible
T4	Plein soleil	Conventionnelle	Faible
T5	<i>E. poeppigiana</i>	Conventionnelle	Faible sans fongicide
T6	Plein soleil	Conventionnelle	Faible sans fongicide

Par ailleurs, les effets de l'ombrage sur l'intensité de la sporulation (nombre de spores par centimètre carré de surface foliaire contaminée) sont extrêmement faibles. Une seule différence significative a été observée, avec une intensité plus élevée sous ombrage dense (*E. poeppigiana* et *C. eurycyclum*) par rapport à *E. poeppigiana*. À noter que l'intensité de sporulation diminue avec le temps dans les systèmes biologiques ou conventionnels sans fongicide. Elle augmente avec le temps dans les systèmes conventionnels avec fongicide. Cette évolution peut s'expliquer par le parasitisme de la rouille sur *L. lecanii* qui est plus intense dans les traitements biologiques et conventionnels sans fongicide. Il y a donc, dans ces traitements, un effet de régulation de l'épidémie par *L. lecanii*. Même si cet effet est tardif — il ne s'exprime qu'en seconde partie d'année, c'est-à-dire à un stade avancé du cycle de production du café et de développement de la rouille —, l'ombrage favorise l'hyperparasitisme de *L. lecanii*.

En résumé, l'ombrage a des effets contraires sur différents processus. Il tend à favoriser l'incidence et la sévérité de la rouille, donc les phases pré-infectieuses et de colonisation. Parallèlement, l'ombrage défavorise la sporulation, en aidant *L. lecanii* qui régule l'épidémie en fin de saison des pluies, au moment du pic de récolte du café. La question se pose de savoir si cette régulation est suffisante pour éviter des pertes.

Effets contraires de l'ombrage sur différents bioagresseurs foliaires du caféier

L'ombrage peut favoriser le développement d'un bioagresseur et en défavoriser un autre. Quel est alors l'effet global de l'ombrage sur l'ensemble du cortège des bioagresseurs et son impact sur le rendement si l'on prend en compte ces effets antagonistes ?

Nous traitons cette question avec une étude dans laquelle une approche originale «*multipest*» a été développée. Elle a pour but d'évaluer l'impact de l'ombrage sur l'ensemble du complexe de bioagresseurs foliaires du caféier (incluant les effets antagonistes des arbres d'ombrage), ainsi que sur le rendement en café. Cette approche

«*multipest*» met en évidence les compromis possibles entre régulation des bioagresseurs et production. Cette expérimentation a été menée sur le site d'Aquiaries (Turrialba) sur le dispositif de la plateforme CoffeeFlux (voir chapitre 2).

Encadré 3.1 – Le dispositif de la plateforme CoffeeFlux

Il s'agit d'une étude factorielle à trois facteurs (ombrage, âge et traitement pesticide ou fongicide). Au total, 80 caféiers ont été étudiés : 4 classes d'âges (de 2 à 6 ans), deux conditions (ombre et soleil), deux traitements (non traité, traité avec un pesticide) et cinq répétitions. Sur chaque caféier, six rameaux ont été marqués et suivis mensuellement. Chaque mois, nous avons mesuré le pourcentage de feuilles atteintes (incidence) et le pourcentage de surface foliaire atteinte (sévérité) par chaque maladie foliaire détectée : cinq champignons (*Hemileia vastatrix*, *Mycena citricolor*, *Cercospora coffeicola*, *Colletotrichum coffeanum* et *Phoma costaricensis*) et une larve mineuse de lépidoptère (*Leucoptera coffeella*). L'aire sous la courbe de progression de la maladie (Area under disease progress curve, AUDPC) pour chacune des deux variables, incidence et sévérité, a été calculée pour chaque année. Les mesures de rendement ont été réalisées à la récolte.

Nos résultats ont montré que l'ombrage réduit significativement la sévérité totale des maladies et ravageurs, mais il n'a pas d'effet significatif sur le rendement (Allinne *et al.*, soumis). Même si la production en café est généralement plus élevée en plein soleil, l'ombrage permet de maintenir le rendement à un niveau acceptable même en cas d'épidémies majeures de rouille, comme en 2012. Ceci est fondamental dans un contexte de conception de systèmes de culture durables et capables qui doit prendre en compte l'équilibre entre plusieurs services écosystémiques, mais également leur stabilité dans le temps.

Effets de l'ombrage sur plusieurs services écosystémiques : régulation des bioagresseurs et rendement des caféiers de base

En agriculture, les bioagresseurs sont les principaux facteurs de réduction du rendement. Dans les systèmes de culture monospécifiques, il est possible d'en évaluer l'impact même s'il reste difficile de quantifier exactement les pertes de production associées. En revanche, dans les systèmes plurispécifiques complexes fournissant une diversité de services écosystémiques autres que la production, leur impact est moins apparent en raison des nombreuses interactions dans lesquelles ils sont impliqués. Cependant, il est essentiel de comprendre les relations entre les bioagresseurs, d'une part, et la fourniture de services écosystémiques (y compris la production agricole), d'autre part, afin de développer des agroécosystèmes durables.

L'étude présentée (Allinne *et al.*, 2016) illustre comment la biodiversité associée à l'ombrage et la gestion du système influent sur la fourniture de services écosystémiques, principalement la régulation des bioagresseurs et la production de café. Cette étude a été conduite dans des agroécosystèmes à base de caféiers au Costa Rica.

Notre étude est basée sur l'analyse de données d'enquêtes recueillies dans 107 parcelles de caféiers caractérisées par un topo-climat, un sol, des états physiologiques de production des caféiers, des pratiques culturales et un certain niveau d'incidence des

différents bioagresseurs. Pour chacune de ces catégories de variables, nous avons réalisé une typologie des parcelles afin d'identifier des profils des principaux attributs des systèmes de culture. Les profils de dégâts ont été déterminés à partir des niveaux d'incidence de sept maladies, un insecte et deux nématodes. Les groupes obtenus (types de topoclimat, de sol, de caractéristiques physiologiques de production du café, de pratiques culturales et les profils de dégâts) sont considérés alors comme des méta-variables, décrites à partir des variables initiales. Puis, nous avons réalisé une analyse des correspondances pour évaluer les niveaux d'associations entre les profils de dégâts et les autres méta-variables descriptives des agroécosystèmes. Nous avons également intégré dans l'analyse, comme variables supplémentaires, un indicateur de la biodiversité basé sur le type d'ombrage associé au système et un indicateur du rendement basé sur une estimation du rendement avant récolte.

Quatre principaux types de systèmes de culture représentatifs d'un gradient d'intensité de gestion ont été identifiés (fig. 3.2). Le niveau de biodiversité associé aux types d'ombrage est inversement proportionnel au gradient d'intensité de gestion. Ces types de systèmes de culture vont de l'extensif (systèmes diversifiés à faible niveau d'intrants) à l'intensif (monocultures avec un fort niveau d'intrants). À chaque type, sont associés des profils de dégâts spécifiques, des niveaux de rendement différents et une certaine quantité de services écosystémiques autres que la production de

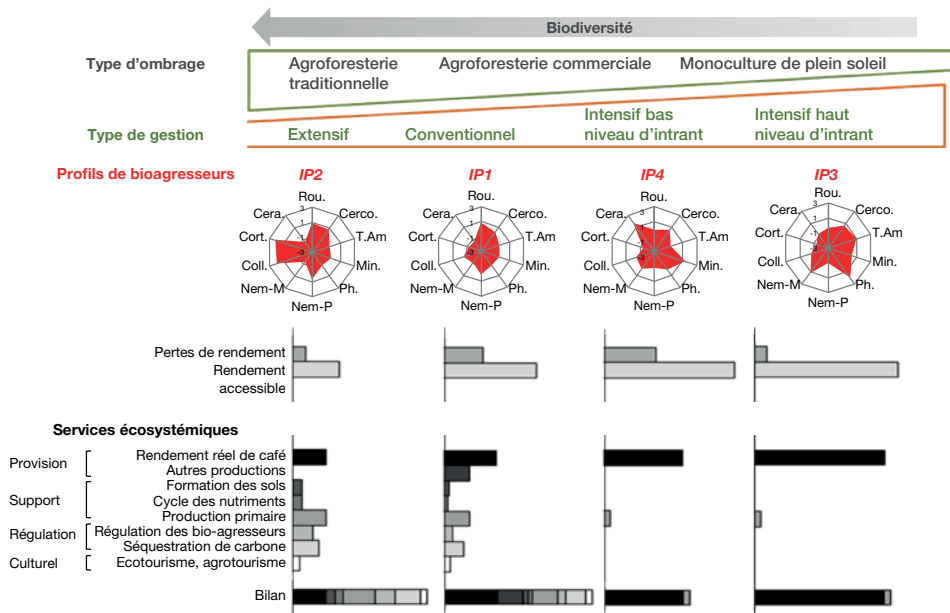


Figure 3.2. Influence de la biodiversité, associée au système de culture et à son mode de gestion, sur les profils des bioagresseurs (IP1, IP2, IP3 et IP4) et la fourniture totale de services écosystémiques.

Les bioagresseurs décrits sont : la rouille (Rou.), la cercosporiose (Cerco.), la maladie de la tache américaine (T.Am.), la mineuse des feuilles (Min.), le phoma (Ph.), les nématodes des lésions racinaires (Nem.P), les nématodes à galles (Nem.M), la mort régressive des rameaux (Coll.), la maladie de la toile d'araignée (Cort.) et le chancre du café (Cera.). Les valeurs présentées ont été centrées-réduites. (adapté de Allinne *et al.*, 2016).

café. Les systèmes les plus diversifiés sont associés à de faibles rendements en café, mais ils sont liés à un profil de bioagresseurs ayant peu d'impact sur la production. À l'opposé, les systèmes les plus intensifs, en monoculture, sont associés à des profils de bioagresseurs susceptibles de réduire fortement le rendement en café. Ces résultats sont synthétisés dans la figure 3.2.

Nous avons mis en évidence que les caractéristiques environnementales physiques, topoclimat et sol, étaient les principaux facteurs déterminant les profils de dégâts et les pertes de rendement associées : la présence de bioagresseurs et leur impact sur la production dépendent en premier lieu de l'environnement. Les pratiques culturales et la gestion des bioagresseurs doivent donc être d'abord adaptées à ces caractéristiques physiques. Nous avons montré que lorsque le topoclimat et le sol favorisent le développement des maladies et ravageurs pouvant conduire à de lourdes pertes de rendement, la diversification du système permet d'augmenter la fourniture de services écosystémiques, comme la production d'autres cultures, contribuant ainsi à compenser la baisse de rendement en café. Au contraire, lorsque les caractéristiques physiques de l'environnement ne sont pas favorables aux maladies et ravageurs, il est possible d'augmenter la quantité d'arbres d'ombrage et donc le nombre de services écosystémiques associés, à condition que cela ne réduise pas significativement la production de café.

►► Conclusion

Les études présentées montrent que les effets des arbres d'ombrage sur la régulation des bioagresseurs du caféier sont complexes et peuvent être antagonistes. D'un côté, l'ombrage augmente la dispersion de la rouille quand il pleut, et la réduit quand il fait sec. L'ombrage favorise le processus pré-infectieux et la colonisation du caféier par la rouille, ainsi que le développement de son ennemi naturel, *L. lecanii*. Ces effets sont contraires selon le bioagresseur foliaire considéré. Seule une approche «*multipest*» permet, dans une condition donnée, d'établir le bilan réel de l'effet de l'ombrage sur l'ensemble du cortège de bioagresseurs. Enfin, l'ombrage peut avoir des effets antagonistes selon les services écosystémiques comme la production de café et la régulation des bioagresseurs, par exemple. L'étude des compromis de l'ensemble de ces services doit être réalisée afin de concevoir des systèmes permettant d'optimiser la régulation des bioagresseurs via l'ombrage.

►► Bibliographie

- Allinne C., Savary S., Avelino J., 2016. Delicate balance between pest and disease injuries, yield performance, and other ecosystem services in the complex coffee-based systems of Costa Rica. *Agriculture, ecosystems and environment*, 222: 1-12.
- Avelino J., Ten Hoopen M., Declerck F., 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. In: *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment*. De Clerck F., Le Coq J.F., Beer J. (eds). Londres : Earthscan.
- Boudrot A., Pico J., Merle I., Granados E., Vilchez S., Tixier P., Filho E.M., Casanoves F., Tapia A., Allinne C., Rice R.A., Avelino J., 2016. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores. *Phytopathology*, 4.

- Damatta F.M., 2004. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field crops research*, 86(2-3): 99-114.
- López-Bravo D.F., Virginio-Filho E.D.M., Avelino J., 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop protection*, 38(0): 21-29.
- Muller R.A., Berry D., Avelino J., Bieysse D., 2009. Coffee diseases. In: *Coffee: Growing, Processing, Sustainable production: a guidebook for growers, processors, traders, and researchers*. Wintgens J.N., (eds). London: Wiley, 495-549.
- Pico Rosado, J.T., 2014. Efecto de la sombra del café y el manejo sobre la incidencia, severidad, cantidad de inóculo y dispersión de *Hemileia vastatrix* en Turrialba, Costa Rica. Centro agronomico tropical de investigacion y ensenanza, Turrialba, Costa Rica.
- Rabbinge R, Ward SA, Van Laar HH, eds. 1989. *Simulation and systems management in crop protection*. Wageningen: Pudoc.
- Schroth G., Krauss U., Gasparotto L., Duarte Aguilar J., Vohland K., 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry systems*, 50(3): 199-241.
- Staver C., Guharay F., Monterroso D., Muschler R., 2001. Designing pest-suppressive multi-trata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry systems*, 53(2): 151-170.
- Van den Meersche K., Cabon M., Theriez M., Garrido A., Rapidel B., Allinne C., Rolando Cerda R., de Melo Virginio E., Rouspard O., Avelino J., soumis. Throughfall kinetic energy in coffee agroforestry systems depends on shade tree species, canopy height and leaf morphology. *Agricultural and forest meteorology* (soumis).
- Zadoks J.C., Schein R.D., 1979. *Epidemiology and plant disease management*. New York: Oxford University Press.