THÈSE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

En Ecologie Fonctionnelle et Sciences Agronomiques

École doctorale GAIA - Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau

Unité de recherche CEFE - Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive

Étude des dynamiques socio-écologiques de la gestion des insectes ravageurs et pollinisateurs dans les systèmes agricoles des Andes tropicales

Présentée par Tatiana CARDENAS

Le 26 Septembre 2024

Sous la direction de Olivier DANGLES

Devant le jury composé de

Mina Kleiche-Dray, DR IRD, UMR CEPED, Paris	Rapportrice
Benoît Geslin, IMBE CNRS, Aix Marseille Université, IRD, Université d'Avignon	Rapporteur
Stéphanie Carrière, DR IRD, UMR Savoirs Environnement Sociétés, Montpellier	Examinatrice
Leila Bagny Beilhe, CIRAD-HDR, UMR PHIM, Montpellier	Examinatrice
Olivier Dangles DR, IRD CEFE- Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive	Directeur de thèse

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER


UNIVERSITE
MONTPELLIER


Institut de Recherche
pour le Développement
FRANCE


McKNIGHT
FOUNDATION

Pour que les printemps ne soient plus silencieux

RESUME

Dans les systèmes agricoles, les insectes jouent un rôle crucial en raison de leurs interactions avec les plantes cultivées. La gestion de ces interactions sans l'utilisation de pesticides représente un défi majeur pour la durabilité de l'agriculture. À cet égard, le manque de données de terrain sur les systèmes agricoles de petite échelle des pays à faible revenu constitue une lacune importante dans l'étude des dynamiques de transition agroécologique à l'échelle globale et locale. Cette thèse a été développée dans une démarche transdisciplinaire axée sur l'approrche par problématiques liées à l'utilisation des pesticides dans les systèmes agricoles des Andes tropicales.

Le travail de terrain de cette recherche a été mis en place de façon collaborative avec des agriculteur·ice·s de la région de Cotopaxi, dans la Sierra équatorienne. Une approche expérimentale a été mise en place pour comparer trois types de pratiques agricoles pour la gestion des insectes dans une culture locale importante, le Lupin andin : gestion avec pesticides, sans pesticides, et sans pesticides avec supplémentation du service de pollinisation. Les objectifs de cette thèse étant (i) la caractérisation et évaluation des multiples contributions de l'entomofaune des systèmes de petite agriculture des Andes par une approche transdisciplinaire, (ii) comprendre comment s'articulent les savoirs locaux et les perceptions sur les insectes avec les pratiques des agriculteurices et la diversité des insectes ; et (iii) évaluer et quantifier le service de pollinisation pour explorer des compromis dans les pratiques de gestion des ravageurs et pollinisateurs afin de favoriser les changements vers des pratiques plus durables, notamment par la réduction des pesticides.

Nos résultats ont mis en lumière les compromis entre les rendements et les bénéfices écologiques et économiques. Ils montrent qu'une stratégie favorisant le service de pollinisation peut augmenter les rendements du lupin par la formation de gousses, présentant une alternative intéressante à la gestion des parcelles avec pesticides. De plus, ces résultats permettent de d'explorer d'autres reflexions plus structurelles à l'échelle du paysage, ainsi que des mesures pour soutenir les productions agroécologiques, promouvant la préservation des pollinisateurs, qui pourraient garantir un meilleur revenu et améliorer la rentabilité pour les agriculteur·rice·s.

Cette thèse met également en avant l'importance d'une démarche transdisciplinaire pour intégrer des multiples valeurs et savoirs entomologiques dans le dialogue entre écologie et agriculture, ainsi que les défis et opportunités pour mieux intégrer les connaissances scientifiques et locales. Nos résultats montrent que les agriculteur·ice·s reconnaissent une large diversité de fonctions des insectes, qui peuvent être matérielles ou non-matérielles, incluant des valeurs intrinsèques et relationnelles souvent négligées dans les analyses de type services

écosystémiques ou purement économiques. En articulant les differents systemes de savoirs, l'étude de terrain proposée dans cette thèse souligne l'importance du système de valeurs associé aux savoirs et perceptions des insectes ainsi que d'associer une plus grande diversité de fonctions écologiques et de valeurs non-économiques aux insectes.

Les résultats invitent à réfléchir sur la nécessité, dans une transition vers une agriculture plus durable, de prendre en compte non seulement les dimensions agronomiques et les rendements économiques immédiats, mais aussi les dynamiques à plus longterme des systèmes de savoirs locaux permettant d'identifier et de répondre aux multiples défis scientifiques, écologiques et sociaux de cette transition.

MOTS CLES

Agroécologie – Agriculture De Petite Echelle – Insectes – Ravageurs – Pollinisation – Pollinisateurs – Pesticides – Contributions De La Nature Aux Populations – Entomofaune – Andes Equatoriennes

ABSTRACT

In agricultural systems, insects play crucial roles through their interactions with crop plants. Managing these interactions without relying on pesticides poses a significant challenge for sustainable agriculture. A major gap in the study of agroecological transition dynamics, particularly in pesticide use reduction, is the lack of field data on small-scale farming systems in low-income countries. The present research adopts a transdisciplinary framework, employing a problem-based approach to examine pesticide use in agricultural systems in the tropical Andes.

The fieldwork for this research was conducted in collaboration with farmers in the Cotopaxi region of the Ecuadorian Sierra. An experimental design was employed to evaluate three distinct agricultural practices for insect management in the key local crop, Andean Lupin (management with pesticides, management without pesticides, and management without pesticides with supplementary managed pollination service). The objectives of this thesis were: (i) to characterize and evaluate the diverse contributions of entomofauna in Andean small-scale farming systems through a transdisciplinary approach; (ii) to examine how local knowledge and perceptions of insects influence farmers' practices and insect diversity; and (iii) to assess and quantify pollination services to explore trade-offs between pest and pollinator management practices, aiming to encourage transitions toward more sustainable practices, particularly through the reduction of pesticide use.

Our results underscore the trade-offs between crop yields and the associated ecological and economic benefits. The findings illustrate that prioritizing pollination services can enhance lupin yields through increased pod formation, offering an interesting alternative to pesticide-based management. Furthermore, these findings suggest the need to explore wider measures at the landscape scale, including strategies to economically support agroecological production farms to promote pollinator conservation. Such measures have the potential to improve farmers' income and profitability by ensuring more sustainable and resilient agricultural practices.

This thesis underscores the significance of a transdisciplinary approach in integrating diverse entomological values and knowledge into the dialogue between ecology and agriculture. It also addresses the challenges and opportunities associated with better aligning scientific and local knowledge. Our findings reveal that farmers acknowledge a broad spectrum of insect taxa and functions, encompassing both material and non-material aspects, including intrinsic and relational values often overlooked in traditional ecosystem service or exclusively economic analyses. By combining various knowledge systems, this study highlights the importance of recognizing the value systems related to insect knowledge and perceptions. It emphasizes the

need to associate a wider range of ecological functions and non-economic values with insects, thereby enriching the understanding of their role in agricultural and ecological contexts.

The results highlight the need to consider not just agronomic factors and immediate economic gains in the shift towards pesticide reduction, but also the role of local knowledge systems. Incorporating these systems in a long-term perspective might help addressing scientific, ecological, and social challenges of the transition towards more sustainable agriculture.

KEYWORDS

Smallholder Farming – Pesticide Use – Entomofauna – Insects – Pests – Pollinators – Pollination – Nature Contributions To People – Ecuadorian Andes

RESUMEN

En los sistemas agrícolas, los insectos cumplen roles fundamentales a través de sus interacciones con las plantas de cultivos. Gestionar estas interacciones sin recurrir a pesticidas representa un desafío significativo para la sostenibilidad de la agricultura. En este contexto, la falta de datos de campo provenientes de sistemas agrícolas a pequeña escala en países de bajos ingresos representa una brecha considerable en el estudio de las dinámicas de transición agroecológica a nivel global y local. Para responder a estos retos, este trabajo de tesis se ha desarrollado utilizando un enfoque transdisciplinario, orientado a la problemática de la redeuccion del uso de pesticidas en los sistemas agrícolas de los Andes tropicales.

El trabajo de campo para esta investigación se llevó a cabo en colaboración con agricultores de la región del Cotopaxi, en la Sierra ecuatoriana. Se un enfoque experimental para comparar tres tipos de prácticas agrícolas para el manejo de insectos en un importante cultivo local (manejo con pesticidas, sin pesticidas y sin pesticidas con suplementación polinización). Los objetivos de esta tesis abarcaban (i) caracterizar y evaluar las múltiples contribuciones de la entomofauna de los sistemas agrícolas a pequeña escala en los Andes utilizando un enfoque transdisciplinario; (ii) analizar las relaciones entre saberes y percepciones locales sobre los insectos con las prácticas agrícolas y la diversidad de insectos; y (iii) evaluar y cuantificar el servicio de polinización para explorar las compensaciones en las prácticas de gestión de plagas y polinizadores con vistas a fomentar cambios hacia prácticas más sostenibles, en particular reduciendo el uso de pesticidas.

Nuestros resultados destacaron las compensaciones entre los rendimientos y los beneficios ecológicos y económicos, indicando que una estrategia que favorezca el servicio de polinización puede aumentar el rendimiento mediante la formación de vainas, lo que representa una alternativa interesante al manejo de campos con pesticidas. Además, estos resultados invitan a la reflexión y permiten explorar otras medidas más estructurales a escala de paisaje, así como medidas de apoyo a la producción agroecológica y de fomento de la conservación de los polinizadores, que podrían garantizar mejores ingresos y mejorar la rentabilidad para les agricultorxs.

Esta tesis también destaca la relevancia de un enfoque transdisciplinar para integrar múltiples valores y conocimientos entomológicos en el diálogo entre ecología y agricultura, así para abordar como los desafios y oportunidades de integrar mejor los conocimientos científicos y locales.

Nuestros resultados muestran que les agricultorxs reconocen una amplia gama de taxones y funciones de insectos, tanto materiales como inmateriales, incluyendo valores intrínsecos y relacionales que a menudo se pasan por alto en los análisis de servicios ecosistémicos o puramente económicos. Al articular diferentes sistemas de conocimiento, el estudio de campo presentado en esta tesis destaca la importancia de considerar en conjunto los sistemas de valores, de conocimiento y percepciones, y de incorporar una mayor diversidad de funciones ecológicas y valores no económicos de los insectps en el contexto del manejo integrado en los sistemas agricolas.

Este trabajo de investigación invita igualmente a reflexionar sobre la necesidad de considerar, en la transición hacia una agricultura más sostenible, no sólo las dimensiones agronómicas y los rendimientos económicos inmediatos, sino también la dinámica de los sistemas de conocimiento locales. Esta integración es essencial para contribuir a identificar y abordar los multiples desafíos científicos, ecológicos y sociales asociados con esta transición.

PALABRAS CLAVE

Agroecología - Agricultura de pequeña escala - Insectos - Plagas - Polinizadores - Polinización- Pesticidas- Contribuciones De La Naturaleza - Entomofauna - Andes Ecuatorianos

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de cette thèse.

Avant tout et plus que tout je remercie les agriculteur·ice·s de la province du Cotopaxi, qui sont le cœur, le moteur et l'inspiration principale de ce travail. Il est fait avec et pour elles et eux.

Antes que todo, mis más profundos agradecimientos a las agricultoras y los agricultores de la Sierra Ecuatoriana, en la provincia de Cotopaxi con quienes se realizó este trabajo, y a quienes es dedicado con profundo respeto y admiración. A todas las personas que participaron en las diferentes etapas, que me acogieron en sus hogares, sus campos, sus quehaceres y su cotidianidad, que hicieron posible tantos aprendizajes y con quienes tuve el honor de compartir estos casi dos años de mis estadías en Ecuador. Mis palabras nunca serán suficientes para expresar el cariño que les tengo. Muchas gracias a todes.

Je remercie Olivier Dangles, mon directeur de thèse, pour sa patience, son soutien et son engagement à faire une science ancrée dans la réalité. Merci Olivier pour ta passion pour les insectes, et ton ouverture inter et transdisciplinaire. Merci pour ta disposition à échanger aussi bien sur les proboscis et les traits floraux que sur les chevauchements ontologiques ou les empreintes résiduelles des passages des ours à lunettes dans le páramo.

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer un travail composite et riche de diversité. Merci également aux membres de mon comité de thèse : Philippe Tixier, Fabrice Requier, Yildiz Aumeeruddy-Thomas pour leur accompagnement, leurs conseils précieux et leur soutien pendant toutes les étapes de mon travail.

Gracias a lxs colegas del proyecto «Agro-Ecological Management Of Crop Insects: Towards A Sustainable Collective Goal For Farmers» por compartir esta trayectoria de aprendizajes y por el apoyo. Gracias Diego y Mayra por el tiempo compartido y las experiencias tanto de trabajo de campo como humanas. Gracias igualemente a la Fondation Mcknight y el Collaborative Crop Research Program por la oportunidad de ser parte de una comunidad de practica y de investigación que estimula los procesos de aprendizaje colectivos entre agricultorxs y cientificxs.

Merci aux collègues du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive –CEFE pour l'accueil et les échanges fort enrichissants. Merci à Johanne Nahmani et Sylvain Coq pour le soutien et échanges scientifiques, ainsi que qu'aux collègues du Département d'écologie Fontionnelle et l'équipe Interactions Bioculturelles. Merci spécialement à Quentin Struelens pour son soutien et sa disponibilité pour démêler mes blocages de R et autres questions existentielles. Merci aux collègues de l'IRD à Montpellier, et merci à Claire Fortunel pour sa bienveillance, l'accueil à AMAP, et son intérêt partagé pour les abeilles tropicales.

Gracias a Rommel Montufar y a lxs colegas de la PUCE, Rafael, Tarynn, Nicolas y todes lxs demas por acompañar mi estadia en Ecuador. Gracias inmensas al equipo de la representación del IRD Equateur, Aida, Ivan, Paola. Especialmente gracias a Anne-Gaël Bilhaut, merci pour ta bienveillance et ton accompagnement tout au long de mes séjours en Equateur.

También ofrezco un gran agradecimiento a las instituciones locales asociadas al proyecto, en especial la Universidad Técnica de Cotopaxi, a Marco Rivera y Guadalupe Lopez por su colaboración y cálida acogida durante el trabajo de campo. Gracias a lxs estudiantes de la carrera de Agronomia, que con mucha paciencia y dedicación participaron a la laboriosa contada y pesada de los granos de las cosechas. Gracias especialmente a Brayan y a José, por todo el apoyo en el campo, por su buena onda, las playlists y su compromiso para ayudarme en todo, incluso a alimentar los perritos, las ovejas y las llamas en el camino.

Gracias a Sandra Tarco y Geovanni Chamba de ApiLoja por su disposición y su colaboración con el manejo de las colmenas. Gracias inmensas también a Dania, Berenice, Fernanda y Lorena por su apoyo también para contar y pesar los interminables granos. Especialmente a Lorena por su ayuda en la gestión de las bases de datos de tantos miles de líneas, las equivalentes mil gracias Lore! Merci à Elia pour avoir talentueusement illustré cette thèse.

Gracias a mis amigues en Ecuador, Isra, Kirstynn, Camila, Valeria, Alexandra, Paola, Juan. Gracias a Marina por compartir las aventuras de viajes y soportar juntas los ambientes sonoros de los medios de transporte. Merci aux voisin·ne·s de Guapulo pour la bonne ambiance et la solidarité villageoise. Gracias a Paula por ser mi alma gemela, por bailar, por hacer una tesis y por existir en el mismo tiempo-espacio. Y por entender todo, todo lo que esas cuatro cosas significan. Yupaychani a todxs lxs mashikuna que defienden la vida y la tierra, por compartir su fuerza y sus sueños conmiga. Gracias a lxs compas del Colectivo en Defensa de los polinizadores, por construir juntes esta hermosa lucha común. También gracias al Ecuador por enseñarme la fuerza de lo colectivo, y lo importante de estar en comunidad.

Merci à Alix et Max (et Dombeya), quelle chance immense d'avoir partagé ensemble ce ciel, l'arc-en-ciel, le mirador et les escaliers pendant les états d'urgence à répétition. Puis à Grégory d'être venu dans l'œil du cyclone aussi. Merci à mes scientifiques préféré·e·s Marie-Charlotte, Léo, Théo, Maria de los Angeles, Bertrand, Irene, Vincent, Monica, Guillaume, Lucas, Marilou, Erwan, Arnaud, Victor, Soumaya, Malena, Fernanda, Nico, Noa, Maryse, Helena, Thomas, Catharina, Floriane. Vous êtres brillant·e·s et inspirant·e·s, pas seulement pour vos capacités de codage en R ou de résolution d'équations complexes (oui, on est là pour ça aussi), mais par la beauté d'êtres humains que vous êtes. Je vous admire profondément. Un très très grand Merci à Yelli, Héloïse, Jocelin, Thomas, Rebecca, Margaux, Soso, Anna, Violette, Mauri, Clara, Estelle, Monica-Sofia-Charles-Valentin ; d'être là, d'avoir été là même quand moi je n'étais pas là. Merci les ami·e·s, je vous aime fort. Gracias a Natalia, peu à peu devenue collègue, amiga, coloc, tia. Siempre fashion. Merci à Thibaut pour tout le bleu qu'il porte. Je ne pourrai pas écrire tous vos prénoms ni sur vous tou·te·s, mais merci à tou·te·s mes ami·e·s en France, en Equateur et ailleurs dans le monde pour leur amour, leur soutien, leur temps et d'avoir tout simplement partagé nos existences.

Las gracias mas especiales a mi mamá, por su amor incondicional y por sostener mis sueños hasta este punto: aquí tienes tu doctora. Gracias inmensas a mis hermanos, a mis tías, a Susi y a Vale por los abrazos y ánimos inagotables. Gracias a toda mi familia.

Enfin, merci à toutes les féministes qui se sont un jour battues pour nos droits, et qui continuent de le faire aujourd'hui, pour nous tou·te·s, pour qu'on puisse être là. Merci vraiment. Gracias al Taita Cotopaxi de regalarme tan preciosos soles, lunas y cielos durante esos meses a su lado. Et merci aux abeilles et à tous les insectes pour leur existence, dont la notre dépend si étroitement, bien que nous l'oublions trop souvent.

TABLE DES MATIERES

Table des matières

RESUME 5
ABSTRACT 7
RESUMEN 9
REMERCIEMENTS 11
TABLE DES MATIERES 13
LISTE DES ACRONYMES ET DEFINITIONS 16
PREMIERE PARTIE 20
CHAPITRE 1 21
1. INTRODUCTION GENERALE 21
I. INTRODUCTION 21
1.1. Pesticides et agriculture : différentes dimensions d'un défi global 21
1.2. Les interactions insectes–agriculture dans la transition agroécologique 31
1.3. Attribution des valeurs à la biodiversité 37
1.4. Les pollinisateurs comme étude de cas 43
II. CADRAGE METHODOLOGIQUE 45
1.1. Cadre méthodologique 45
1.2. Objectifs et hypothèses 48
1.3. Description du contexte agricole des Andes et des sites d'étude 51
CHAPITRE 2 60
SERVICES ET DISSERVICES ÉCOSYSTEMIQUES DES ARTHROPODES DANS LES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES DES PAYS À REVENU FAIBLE ET MOYEN 61
ARTHROPOD-RELATED ECOSYSTEM SERVICES AND DISSERVICES IN SMALLHOLDER FARMING IN LOW AND MIDDLE INCOME COUNTRIES 64
Abstract 64
2.1. Introduction 65
2.2. Material and methods 67
2.3. Results 70
2.4. Discussion 76
2.5. Conclusion 80
2.6. Matériel Supplémentaire Chapitre 2 81
DEUXIEME PARTIE 89
CHAPITRE 3 91
3. CONNAISSANCES ET PERCEPTIONS DE L'ENTOMOFAUNE LOCALE CHEZ LES AGRICULTEUR·ICE·S DANS LES ANDES ÉQUATORIENNES 92

DIVERGENT KNOWLEDGE AND PERCEPTIONS OF INSECTS BY ORGANIC AND CONVENTIONAL FARMERS IN THE ECUADORIAN ANDES 95
Abstract 95
3.1. Introduction 96
3.2. Materials and methods 98
3.3. Results 103
3.4. Discussion 111
3.5. Conclusion 115
3.6. Matériel Supplémentaire Chapitre 3 117
CHAPITRE 4 125
4. VALEURS MULTIPLES ET CONTRIBUTIONS DE L'ENTOMOFAUNE AGRICOLE DANS LES ANDES ECUATORIENNES 126
MULTIPLE VALUES AND CONTRIBUTIONS OF ENTOMOFAUNA TO SMALLHOLDER FARMING IN THE ECUADORIAN ANDES 129
Abstract 129
4.1. Introduction 130
4.2. Material and methods 132
4.3. Results 135
4.4. Discussion 140
4.5. Conclusion 145
4.6. Matériel Supplémentaire Chapitre 4 147
TROISIEME PARTIE 150
CHAPITRE 5 152
5. ANALYSE DES DYNAMIQUES ECONOMIQUES ET SOCIO-ECOLOGIQUES ASSOCIEES A LA GESTION DES INSECTES DANS L'AGRICULTURE DES ANDES TROPICALES 153
ECONOMIC AND SOCIO-ECOLOGICAL TRADEOFFS ASSOCIATED WITH INSECT MANAGEMENT IN ANDEAN SMALLHOLDERS 156
Abstract 156
5.1. Introduction 157
5.2. Material and methods 159
5.3. Results 166
5.4. Discussion 173
5.5. Conclusion 177
5.6. Matériel supplémentaire Chapitre 5 179
QUATRIEME PARTIE 188
CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE 189
6. DISCUSSION GENERALE 190

6.1. Synthèse et articulation des résultats 191
6.2. Contributions principales et implications des résultats 196
6.3. LIMITES ET NOUVELLES QUESTIONS DE RECHERCHE 204
7. CONCLUSION GENERALE 207
8. REFERENCES 210
References Chapitre 1 211
Références Chapitre 2 221
Références Chapitre 3 227
Références Chapitre 4 231
Références chapitre 5 236
Références chapitre 6 244

LISTE DES ACRONYMES ET DEFINITIONS

Dans cette section je propose des définitions de certains termes utilisés dans ce manuscrit afin de clarifier les concepts et notions abordés, et de faciliter la compréhension des propos dans le texte.

IPBES : International Plateform on Biodiversity and Ecosystem Services. En français: Plateforme Intergouvernementale Scientifique et Politique sur la Biodiversité et les Services Écosystémiques est un organe international établi en 2012 pour fournir des évaluations scientifiques indépendantes sur l'état de la biodiversité et les services écosystémiques à l'échelle mondiale.

NCP : Nature Contributions to People. En français: Contributions de la Nature aux populations. Quelques textes traduisent ce terme comme Contributions de la Nature aux Sociétés.

MLIC : Middle and Low Income Countries

SHF: Smallholder Farming

FAO : Food and Agriculture Organization

LMIC – Low and Middle-Income Country – Pays à revenu faible et intérmediaire : désigne une catégorie d'économie assignée par pays en fonction de leur économie et définies afin d'identifier et de classer les pays à des fins d'analyse économique, l'élaboration de politiques et l'allocation d'aides. Ces catégories sont définies à partir du Revenu National Brut par habitant (RNB ou, en anglais GNI Gross National Income), calculé selon la méthode de l'Atlas de la Banque mondiale, comprenant ceux à faible revenu (1 135 $ ou moins) ; revenu intermédiaire-inférieur (RNB par habitant compris entre 1 136 $ et 4 465 $); -revenu intermédiaire-supérieur (RNB par habitant compris entre 4 466 $ et 13 845 $) et à revenu élevé (RNB par habitant égal ou supérieur à 13 846 $) (chiffres en 2022). Les LMIC et LICs sont souvent utilisés de manière interchangeable avec « pays en développement », et abritant 75 % de la population mondiale et 62 % des pauvres de la planète. Ce terme est utilisé dans ce document car le terrain d'étude se trouve en Equateur, pays classifié dans la catégorie LMIC. Cette classification permet une référence internationale des catégories des économies, bien qu'elle est critquee par son utilisation recurente dans les travaux académiques, en raison du risque de perpétuer et de naturaliser les différences entre les pays fondées exclusivement sur la classification des revenus et en négligeant les problèmes de fortes inégalités qui se cachent derrière ces indicateurs (Lencucha &Neupane 2022).

ES - ECOSYSTEM SERVICES – Services écosystémiques: défini les avantages que les humains obtienent des écosystèmes, y compris les services ou biens d'approvisionnement (e.g., la nourriture), les services de régulation essentiels médiés par la biodiversité (e.g. la prévention de l'érosion des sols), et les services culturels (e.g., les loisirs). (M.E.A., 2001 ; Kunar, 2012)

EDS – ECOSYSTEM DISSERVICES – Disservices écosystemiques : désignent une série d'impacts négatifs causés par les écosystèmes, qui peuvent affecter directement le bien-être des sociétés humaines, ou indirectement les services écosystémiques (SE). Elles peuvent résulter de processus naturels de l'écosystème (e.g. composés organiques émis par les forêts), ou d'activités anthropiques, comme la prolifération d'espèces envahissantes (Blanco et al 2021).

SHF – SMALL HOLDER FARMING – Agriculture de petite échelle – petites exploitations agricoles : La définition des petites exploitations agricoles varie selon les contextes socio-économiques, technologiques et agroécologiques. Ces exploitations, souvent limitées à 2 à 5 hectares, reposent principalement sur le travail familial et sont prédominantes dans les pays à revenu faible ou intermédiaire (Lowder et al 2016). Malgré des défis tels que des ressources restreintes et des pressions environnementales, elles représentent plus de 70% de la production alimentaire mondiale. Ces systèmes agricoles sont diversifiés mais partagent des caractéristiques communes comme une grande biodiversité et une forte dépendance aux savoirs locaux. Ils sont essentiels pour les moyens de subsistance locaux, la sécurité alimentaire et l'agrobiodiversité (Berdegué, & Fuentealba 2011, FAO 2002).

Conventional Farming – Agriculture conventionnelle*: L'agriculture conventionnelle fait référence à des méthodes agricoles qui reposent sur des engrais synthétiques, des pesticides et d'autres intrants chimiques pour lutter contre les parasites et augmenter les rendements. Elle implique généralement des pratiques de monoculture, où une seule variété de plante est cultivée à grande échelle, et utilise couramment des équipements mécanisés pour la plantation, la culture et la récolte. L'objectif principal de l'agriculture conventionnelle est l'optimisation de la production et de la rentabilité, tout en minimisant les besoins en main-d'œuvre et en maximisant l'utilisation des ressources. (Gabriel et al 2013, Kremen & Miles 2012).

Organic Farming – Agriculture biologique/Agriculture organique*: L'agriculture biologique fait référence à des méthodes de production agricole respectueux de l'environnement tout au long du processus, de la production à la transformation. Ce système vise à maintenir voire améliorer la santé des champs cultivés et des écosystèmes, y compris le sol et les cycles biologiques, tout en minimisant les intrants externes et en évitant les produits synthétiques (Scialabba & Hattam 2002, Jouzi et al 2017)

*Ces termes (agriculture organique et agriculture conventionnelle) sont utilisés dans ce texte bien qu'ils ne capturent pas pleinement la diversité des pratiques dans les systèmes de petite agriculture, en particulier dans les pays à revenu faible ou intermédiaire LMIC. Dans ces régions, les pratiques agricoles varient selon les conditions locales et les ressources disponibles, ce qui peut ne pas toujours correspondre aux définitions données. Toutefois, j'ai fait le choix de l'utilisation de ces termes afin de structurer le manuscrit de manière cohérente et de fournir des repères clairs. De plus, en précisant ces termes dans le contexte académique de ce manuscrit il me semblait faciliter l'intégration des études sur les SHF dans les discussions internationales, augmentant ainsi la visibilité des défis spécifiques auxquels cette agriculture fait face.

Entomofauna – Entomofaune : désigne l'ensemble des espèces d'insectes présentes dans une zone géographique ou un écosystème spécifique, leur diversité et leurs rôles écologiques dans cet environnement (Foottit & Adler, 2009).

Emic – Emique : fait référence à la perspective interne d'un groupe culturel, visant à comprendre une culture à travers les expériences, significations et interprétations de ses membres. Contrairement à l'approche « etic », qui est une analyse externe, l'approche émique est essentielle pour saisir les nuances culturelles que les observateurs extérieurs pourraient manquer. (Mostowlansky 2020)

Nature : Définir le concept de « Nature » est complexe et constitue un domaine d'étude à part entière, en raison de ses multiples dimensions et de son interaction profonde avec les aspects culturels et sociaux. Cette notion englobe la biodiversité, les écosystèmes, la biosphère, et la diversité bioculturelle, et est généralement perçue comme distincte des créations humaines, représentant les aspects intacts et non modifiés de la Terre (Maris 2010). Dans le cadre de ce manuscrit, le terme « Nature » comprend les éléments vivants tels que les plantes, les animaux, et les écosystèmes, ainsi que les aspects physiques comme les paysages et les processus abiotiques. En anthropologie, la nature est souvent comprise comme un système intégré où les composantes biotiques (organismes vivants) et abiotiques (éléments non vivants) interagissent de manière dynamique. Elle est vue comme profondément liée aux sociétés humaines, qui influencent et sont influencées par leur environnement. Cette perspective met en avant la coévolution entre la nature et la culture, soulignant leur interdépendance et leur influence réciproque (Ingold, 2000 ; Descola, 2013).

LEK - Local Ecological Knowlege - Savoirs Locaux : La terminologie désignant les systèmes de savoirs écologiques/environnementales des groupes indigènes et ruraux est variée et parfois confuse. J'ai adopté, pour ce travail de thèse, une définition large, tout en la gardant comme référence de base, notamment dans l'utilisation du terme "savoirs écologiques locaux" ou

"savoirs locaux agricoles" pour éviter les débats liés à l'utilisation du mot "traditionnel" pour décrire des connaissances contemporaines dont on fait état et qui reflètent des dynamiques de changement en cours. Les termes « savoirs écologiques traditionnels » (TEK), « indigenous knowledge », « savoirs écologiques locaux » ou « savoirs populaires » sont souvent utilisés de manière interchangeable. Les savoirs écologiques traditionnels sont généralement définis comme un ensemble évolutif de connaissances, de pratiques et de croyances transmises culturellement à travers les générations, concernant les relations entre les êtres vivants, y compris les humains, et leur environnement (Tengo et al., 2017 ; IPBES, 2019 ; Turner 2022).

Nature's Contributions to People – NCP – Contributions de la Nature aux populations: Englobe toutes les contributions positives, les avantages et, occasionnellement, les contributions négatives, les pertes ou les préjudices issus des interactions des sociétés humaines avec les écosystèmes. Cette notion inclut des concepts associés à d'autres relations entre humains et nature et à d'autres systèmes de connaissances (Diaz et al 2018, Pascual et al 2017, IPBES 2019).

Values - Valeurs : La valeur représente l'importance accordée par les individus ou les sociétés à un objet, qu'il soit matériel ou immatériel, en termes de signification, utilité ou désirabilité. Dans le cadre d'analyse des relations entre les humains et la Nature, la valeur reflète les interactions, perceptions et liens entre les individus et l'environnement, en prenant aussi en compte diverses perspectives, motivations et cadres éthiques dans ces interactions. La notion de valeur englobe la reconnaissance de la valeur intrinsèque de la nature, les bénéfices des écosystèmes et l'influence de ces valeurs sur la prise de décisions concernant les éléments de ces écosystèmes (Pascual et al 2017, Managi et al 2022)

Biocultural diversity – Diversité bioculturelle : représente l'interconnexion entre la diversité biologique et la diversité culturelle. Ce terme souligne l'idée que la culture et la nature se façonnent mutuellement à travers diverses pratiques, connaissances et expressions culturelles au sein d'une société. Cela joue un rôle crucial dans la coévolution des espèces végétales et animales gérées localement, intégrées à l'histoire du territoire. Cette notion englobe trois concepts clés : la diversité de la vie qui inclut les cultures et les langues ; les liens entre biodiversité et diversité culturelle ; et l'évolution de ces liens au fil du temps par une adaptation réciproque et potentiellement une coévolution. (IPBES 2019, Díaz et al., 2015).

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE 1

1. INTRODUCTION GENERALE

I. INTRODUCTION

1.1. Pesticides et agriculture : différentes dimensions d'un défi global

L'agriculture est à la croisée des chemins entre les questions de durabilité, de sécurité alimentaire et de biodiversité. En plus de répondre aux besoins essentiels en alimentation humaine et animale, en fibres et en combustibles, l'agriculture assure les moyens de subsistance à environ 2,5 milliards de personnes et mobilise plus d'un tiers de la main-d'œuvre mondiale (FAO, 2013; Lowder et al., 2021; Rigg et al., 2016; Stewart et al., 2014). Dans les zones rurales, l'agriculture a un rôle essentiel pour la cohésion sociale et le patrimoine culturel, en préservant des traditions et en contribuant significativement au maintien des paysages, par exemple, par la gestion d'habitats, la préservation de la qualité de l'eau, à la prévention des inondations, et l'atténuation des impacts du changement climatique (Huylenbroeck et al., 2007). A l'échelle globale, les défis de l'agriculture se sont intensifiés au cours du dernier siècle en raison de la croissance démographique, des modifications dans les habitudes de consommation et de divers changements environnementaux (e.g. réchauffement climatique, pollution, etc) (Foley et al., 2005; Pretty, 2008). En même temps, dans les pays industrialisés, l'augmentation de la production agricole a favorisé le développement des monocultures, qui dépendent fortement de la mécanisation, de l'automatisation, de la sélection génétique des espèces cultivées et de l'utilisation d'engrais et de pesticides synthétiques. Ce modèle d'intensification de l'agriculture s'est imposé dans d'autres régions du monde sous le nom de « *révolution verte* » et est aujourd'hui communément appelé *agriculture conventionnelle*. Grâce à des variétés à haut rendement, à l'irrigation et à des niveaux élevés d'intrants chimiques, ce modèle a permis d'augmenter les rendements et de tripler la production en 50 ans, alors que les surfaces cultivées n'ont augmenté que de 12 % (Cornilleau & Joly, 2014; Foley et al., 2005).

1.1.1. L'utilisation des pesticides en agriculture

Les pesticides sont un élément central de la « *révolution verte* ». L'avènement des pesticides chimiques au XXe siècle a été initialement salué comme une innovation agricole majeure, permettant d'améliorer et de stabiliser les rendements en protégeant les cultures contre les ravageurs et les maladies. L'utilisation d'herbicides, d'insecticides et de fongicides a été préconisée pour éliminer ou réduire les populations d'organismes considérés comme menaçants ou susceptibles de compromettre la santé et les rendements des cultures (Bertomeu-Sánchez,

2019). Les fongicides agissent en inhibant la croissance des champignons pathogènes ou en perturbant leurs processus métaboliques et les herbicides, en perturbant le métabolisme des plantes et leur développement, dans l'objectif d'éliminer ou réduire la concurrence des plantes adventices pour les ressources du sol. Dans la même perspective, les insecticides visent à agir sur les herbivores en perturbant leur système nerveux central, bloquant leurs canaux ioniques ou interférant avec d'autres processus biochimiques de neurotransmission, ce qui entraîne leur mort (Bertomeu-Sánchez, 2019; Carvalho, 2017; Shaner & Beckie, 2014; Werner, 2022). Cependant, l`utilisation massive de ces produits a suscité des préoccupations croissantes quant à ses répercussions environnementales et sanitaires, notamment la résistance progressive des ravageurs, les effets sur les organismes non ciblés, et la contamination des sols et de l'eau (Carvalho, 2017; Jacobsen & Hjelmsø, 2014; Relyea, 2009; Schreinemachers & Tipraqsa, 2012). Dès les premières années suivant la généralisation de leur usage, plusieurs scientifiques ont mis en garde contre les effets dévastateurs des pesticides sur la faune, la flore et la santé humaine, dont les cancers, les problèmes neurologiques et les troubles endocriniens (notamment l'ouvrage pionner *Silent spring* de R. Carson en 1962). Depuis, de nombreux travaux soulignent les impacts négatifs de diverses quantités de pesticides sur la diversité et l'abondance des insectes (Brühl & Zaller, 2019; Wagner, 2019) dont les conséquences s'étendent, par les échanges trophiques, aux oiseaux, reptiles et mammifères prédateurs qui se nourrissent d'insectes contaminés, perturbant plus largement les équilibres écologiques (Brühl & Zaller, 2019b; Jacobsen & Hjelmsø, 2014; Mamy et al., 2023). Plus récemment, la communauté scientifique s'efforce d'étudier aussi les dimensions économiques et écologiques profondes de l'utilisation des pesticides ainsi que les conséquences à court, moyen et long terme sur les écosystèmes (Bertomeu-Sánchez, 2019; Fernandez-Cornejo et al., 1998; Galt, 2008; Struelens et al., 2022; Werner et al., 2022). Ces travaux mettent en lumière les risques avérés et potentiels de l'usage des pesticides, qui peuvent être exacerbés par le changement climatique (Köhler & Triebskorn, 2013) et les dynamiques géopolitiques et économiques mondiales (Carvalho, 2017; Goulson et al., 2015). Ces constats soulignent la nécessité d'explorer de façon transversale les conséquences de leur utilisation afin d'explorer des alternatives de production durables assurant la sécurité alimentaire et le bien-être des populations rurales.

Malgré une prise de conscience croissante des risques associés à l'utilisation des pesticides, particulièrement en cas de mauvais usage (Brühl & Zaller, 2019; Wilson & Tisdell, 2001), l'agriculture demeure fortement dépendante de ces produits. Cette dépendance augmente chaque année (FAO, 2022, Figure 1), notamment dans les pays où les contrôles sont faibles et où l'on importe des produits interdits par des cadres législatifs plus contraignants (Cole et al., 2011; Hammond Wagner et al., 2016; Schreinemachers & Tipraqsa, 2012).

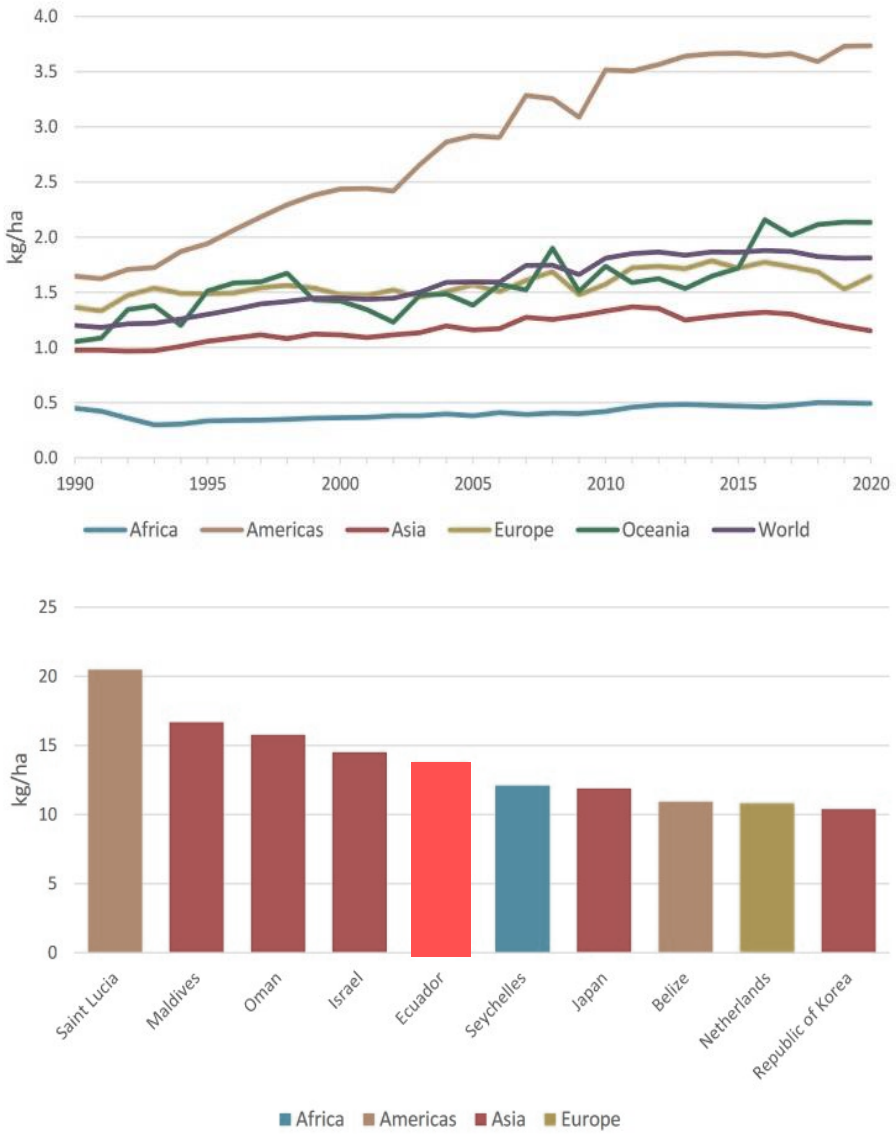


Figure 1*- Données de la FAO sur les tendances de l'utilisation des pesticides entre 1990 et 2020. Au niveau mondial, l'utilisation de pesticides est restée stable en 2020, à 2,7 millions de tonnes (Mt), mais à l'échelle régionale et nationale, leur utilisation a augmenté de manière significative. Les Amériques sont les plus grands importateurs de pesticides (1,1 million de tonnes en 2020) et affichent les taux d'application les plus élevés par hectare (2,83 kg/ha/an), par personne (1,17 kg/personne/an) et par valeur de production agricole (1,43 kg/1000 I$). L'Équateur se classe parmi les premiers pays pour l'utilisation de pesticides par surface cultivée en 2020 (14 kg/ha).*
Source: FAO. 2022. FAOSTAT: Pesticides Use. In: FAO. Rome. http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP

Y compris dans l'Union Européenne, les obligations environnementales croissantes, notamment celles concernant les pesticides suscitent des protestations et mobilisations des agriculteurs (manifestations janvier 2024[1]). La situation est encore plus incertaine dans les pays à faibles revenus où les coûts sociaux et écologiques induits par les pesticides, restent sous-estimés puisqu'ils s'y ajoutent des facteurs souvent indirects et difficiles à quantifier. En Amérique latine, de nombreux pesticides interdits dans les pays industrialisés sont couramment utilisés,

[1] https://www.lemonde.fr/economie/article/2024/01/20/partout-en-europe-la-colere-des-agriculteurs-gagne-du-terrain_6211913_3234.html; https://www.lemonde.fr/international/article/2024/02/02/comment-la-colere-des-agriculteurs-s-est-etendue-en-l-europe_6214468_3210.html

dont des organophosphorés et carbamates, connus pour être de puissants neurotoxiques, ce qui entraîne de fréquents cas d'empoisonnement (M. Cole et al., 2011; Ecobichon, 2001; Galt, 2008; Hammond Wagner et al., 2016).

De nombreux agriculteur·ice·s expriment des inquiétudes quant aux impacts et aux incertitudes associés aux pesticides, mais ils font face à divers obstacles qui entravent un changement de comportement (comme le manque d'informations, débouchés limités pour les produits biologiques, programmes menés par des institutions officielles qui distribuent gratuitement ces produits voire en imposent l'utilisation) (Wagner et al 2016, Andersson & Isgren 2021, Horgan & Kudavidanage 2021 et obs. pers.). En outre, l'inadéquation des dosages et type de produits utilisés peuvent également contribuer à cette utilisation excessive ou erronée en raison des recommandations incorrectes de la part des revendeurs de pesticides et des techniciens du conseil agricole puisque certains agriculteur·ice·s se fient davantage à leurs conseils plutôt qu'à des directives spécialisées ou aux services de vulgarisation (Sherwood & Paredes, 2014; Struelens et al., 2022).

1.1.2. Utilisation des pesticides danes les pays à moyens et faibles revenus

Dans les zones rurales des pays à revenu faible et intermédiaire (*Low- and Middle-Income Countries*, *LMIC*) se concentrent la majorité des populations pauvres et vulnérables. Leurs moyens de subsistance dépendent en grande partie de la production agricole et des ressources environnementales auxquelles, ils et elles n'ont souvent pas accès. Alors que près de la moitié de la nourriture produite dans le monde provient de systèmes de subsistance à faible niveau d'intrants et petites unités de production dans ces zones (petites exploitations agricoles ou *Smallholder Farming- SHF*), ces SHF pourraient avoir du mal à répondre durablement aux besoins alimentaires à l'échelle locale et nationale en raison des pressions économiques, politiques et environnementales. Cette situation est exacerbée par la pression démographique (transition démographique en cours où des pics de croissance sont attendus dans les années à venir), l'urbanisation (exode rural, paupérisation des campagnes) et la persistance des inégalités économiques et sociales (systèmes politiques instables et crises institutionnelles à répétition) (Ávila Romero, 2021; Hocsman, 2015; Sabourin et al., 2014; Valencia-Perafán et al., 2020). La généralisation accrue du modèle de production intensive entraîne des effets négatifs sur les aliments, met en péril les moyens de subsistance traditionnels des populations rurales et contribue à l'endettement croissant des agriculteur·ice·s (Ávila Romero, 2021; Berdegué & Fuentealba, 2014; Garibaldi et al., 2017). Dans ces contextes, les effets des pesticides sont amplifiés en raison de leur utilisation inefficace et le manque de sensibilisation aux effets indirects et sublétaux contribue à aggraver ce problème (Galt, 2008; Joly & Lemari, 2002; Wilson & Tisdell,

2001), pouvant même participer à la persistance d'utilsiation des produits interdits (Struelens et al 2022). En outre, les techniques relativement rudimentaires de pulvérisation entraînent à la fois des phénomènes de dérive et un gaspillage important en raison de la libération de gouttelettes (Brühl et al., 2024; Cech et al., 2023). Malgré les difficultés rencontrées, les agriculteur·ice·s de ces régions préservent des pratiques intégrant méthodes traditionnelles, en intégrant aussi des technologies récentes, dans un gradient d'intensification assez large, et font coexister diverses formes d'agriculture (Altieri, 2004; Vanbergen et al., 2020). Dans ce gradient d'intensification peut également persister l'utilisation des pesticides, révélant des contradictions entre les attentes de durabilité et les pratiques réelles. Pour saisir les mécanismes de dégradation persistants de l'utilisation des pesticides, il est donc essentiel d'analyser les dimensions socio-écologiques qui influencent la gestion des ressources et les décisions humaines (Gaba et al., 2018).

1.1.3. Gestion des insectes dans les systèmes agricoles

Malgré l'expansion du modèle agro-industriel, l'agriculture reste liée aux processus physiques et biologiques des écosystèmes, à travers les relations entre espèces de flore et de faune qu'elle cherche à promouvoir ou à éliminer (Bommarco et al., 2013; Gomes et al., 2020; Power, 2010). C'est particulièrement le cas des insectes, dont certains, comme les insectes herbivores sont considérés nuisibles pour les cultures alors que d'autres sont considérés bénéfiques, comme des prédateurs, parasites ou pollinisateurs, car ils assurent des processus écologiques clés pour la protection des cultures (Garibaldi et al., 2017; Gurr et al., 2004; Gurr et al., 2003). Comme il a été reporté concernant le déclin de différents taxons de mammifères, vertébrés (Gibbs et al., 2009) et invertébrés (Potts et al., 2010; Wagner, 2019), l'intensification de l'agriculture renforce le risque de réduction de l'abondance et de la diversité des populations d'insectes qui dépendent fortement des habitats naturels et semi-naturels (Kremen et al., 2002) (Encadré 1, figure 2).

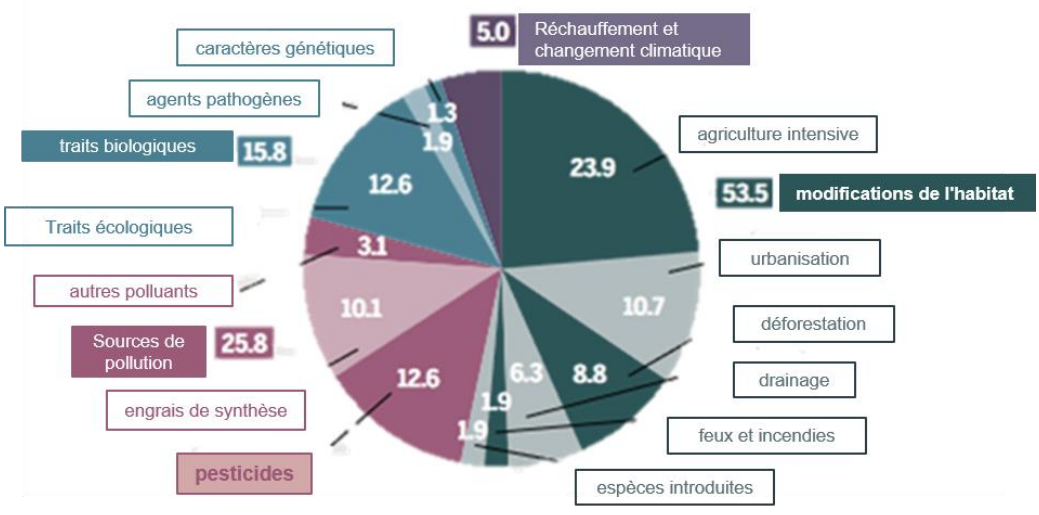


Figure 2 *- Principales causes du déclin des populations d'insectes selon une metanalyse à l'échelle globale. Plusieurs facteurs sont identifiés comme contribuant au déclin des insectes dont l'agriculture intensive, les modifications d'habitat et la pollution. Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019*

Encadré 1. Déclin des insectes

Au cours de millions d'années d'évolution, les insectes ont démontré une capacité d'adaptation remarquable, colonisant presque tous les écosystèmes terrestres et représentant environ 75 % des espèces vivantes sur notre planète (Schowalter, 2022; Stork, 2018). Ils remplissent des fonctions écologiques cruciales, telles que la décomposition de la matière organique, la pollinisation des plantes à fleurs, le maintien de la structure et de la fertilité des sols, et la régulation des populations d'autres organismes, et constituent une source alimentaire essentielle pour de nombreuses espèces animales (Morris et al., 1991). D'un point de vue anthropocentrique, les insectes exercent également une influence socioculturelle importante, se reflétant dans divers domaines comme la littérature, l'alimentation, la médecine, les arts visuels, la religion, la mythologie, et le divertissement (IPBES, 2016; Morris, 2004; Posey, 1982; Prendergast et al., 2021). Plusieurs espèces ont occupé une place majeure dans l'organisation/structuration de diverses sociétés humaines, comme les abeilles chez les Mayas (Ayala et al., 2013) influençant leurs croyances, leur économie et leur culture matérielle (Basset & Lamarre, 2019). Bien qu'ils soient souvent perçus comme vecteurs de maladies et ravageurs de cultures, seulement 1 % des espèces sont reportés comme « problématiques » (e.g. moustiques ou agents pathogènes) et moins de 2 % ravageurs de cultures (Jactel et al., 2020; Samways et al., 2010).

Les pertes de l'entomofaune au cours de l'Holocène s'accélèrent à un rythme alarmant, surtout dans les régions tropicales et dans les paysages anthropisés (Dicks et al., 2024; Wagner et al., 2021). Cette suscite une inquiétude croissante non seulement en raison de la richesse spécifique, mais aussi en raison de la réduction des populations d'espèces communes, qui menace le fonctionnement de nombreux écosystèmes (Birkhofer et al., 2024; Forister et al., 2019) car elles contribuent à la stabilité des interactions par leur rôle dans les réseaux trophiques(Forister et al., 2019). Une baisse significative de la diversité et de la biomasse des insectes entraîne des effets en cascade, affectant l'ensemble de la biodiversité et les espèces qui en dépendent directement ou indirectement (Goulson, 2019; Wagner et al., 2021). Le déclin des insectes est attribué à divers facteurs tels que les agents pathogènes, les espèces exotiques-envahissantes, les modifications d'habitats (eg déforestation), l'intensification de l'agriculture, et le changement climatique, dont effets combinés peuvent exacerber les effets du déclin (Wagner et al., 2021; Warren et al., 2018 ; Figure 2).

Gestion des ravageurs

Face aux défis posés par les insectes ravageurs, l'humanité a historiquement développé diverses stratégies pour minimiser les pertes agricoles (Ehler, 2006). Certaines pratiques agricoles, telles que la rotation des cultures et la diversification des espèces ou variétés, sont depuis longtemps utilisées pour perturber les cycles de vie des ravageurs et limiter leur impact (Altieri 1994, Gurr et al 2004, 2017). L'introduction de méthodes de contrôle biologique, mobilisant les ennemis naturels des ravageurs, a été promue comme une approche durable face

aux pesticides synthétiques et les OGM (Gurr et al., 2004). Des méta-analyses récentes ont fait état des relations positives entre la diversité de ces ennemis naturels et la suppression des herbivores (Griffin, Byrnes, Cardinale, 2013 ; Letourneau et al., 2009). Pour le contrôle biologique, l'objectif est d'améliorer et de maintenir la suppression naturelle des ravageurs, en principe par le biais d'une augmentation des populations (ou au moins de l'efficacité) des prédateurs et des parasitoïdes (Gurr et al 2005). Cela se fait principalement par la gestion des habitats afin de fournir des ressources, des proies alternatives et des abris pour ces insectes (Landis et al., 2000). Il est toutefois important de noter que l'augmentation de la diversité des prédateurs et parasitoïdes en soi ne garantit pas la suppression des ravageurs, qui dépend aussi des interactions biologiques, des dynamiques des populations et de la spécialisation des espèces (la présence d'espèces spécialisées dans la prédation de certaines espèces) et, enfin, que leur présence et efficacité dépend largement de facteurs environnementaux (Synder & Wise 2001, Gurr et al 2003). C'est pourquoi, dans les stratégies de gestion de ravageurs nécessite l'aménagement des habitats et implique souvent la sélection d'espèces pour favoriser les plantes ayant des qualités appropriées pour soutenir les ennemis naturels et leur fonction de prédation ou parasitisme (Amoabeng 2019).

Dans les stratégies de contrôle des ravageurs, la gestion des habitats peut être aussi combinée avec des méthodes mécaniques et/ou organiques, et en utilisant substances non chimiques (i.e. à base de plantes). L'intégration de ces diverses méthodes dans un cadre systématique se retrouve dans le concept de IPM (*Integrated Pest Management*) ou lutte intégrée, qui vise à maximiser l'efficacité du contrôle de ravageurs tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement (Deguine et al., 2021). L'utilisation des pesticides dans le cadre de la lutte intégrée est guidée par les principes de compatibilité, cherchant à minimiser et optimiser leur utilisation, à donner la priorité à l'utilisation d'alternatives non chimiques et ils ne seraient utilisés qu'en cas de nécessité et sur la base de seuils d'intervention (e.g. *economic injury level* EIL, ou *economic threshold* ET) (Deguine et al., 2021; Pedigo et al., 1986). Cependant, Il existe une disparité notable entre les concepts théoriques de l'IPM et sa mise en œuvre pratique sur le terrain, ce qui suggère une traduction inefficace des principes lors de leur application (Altieri & Nicholls, 2018; Deguine et al., 2021). Malgré les intentions de départ, l'utilisation des pesticides n'a connu qu'une diminution modeste, conduisant d'une part à l'évolution rapide de la résistance aux pesticides chez certains ravageurs (Hokkanen 2015, Tabashnik et al., 2013) ; et d'autre part, une dépendance accrue de la production agricole à l'égard des pesticides, établissant un emprisonnement dans la dépendance aux pesticides (*Pesticide lock-in* ;(Hammond Wagner et al., 2016). La conjonction de ces phénomènes a entravé le développent de l'IPM, notamment dans les

pays du sud, où d'autres facteurs se combinent et font obstacle pour répondre aux besoin des agriculteur·ice·s et à l'articulation avec les SDGs (Dangles & Casas, 2019).

Etant donné que l'accent a été mis sur les méthodes de contrôle plutôt que sur l'agroécosystème lui-même, s'impose la nécessité de dépasser l'approche IPM au profit d'une approche plus globale et écologique (Wyckhuys et al., 2018). Des efforts de conservation peuvent y être associés pour améliorer la survie, la fécondité, la longévité et le comportement des ennemis naturels, voire de penser en termes de biocontrol de conservation (*Conservation biological control* ; Landis et al 2020). L'objectif est également d'adopter des solutions préventives écologiquement efficaces, en redessinant les systèmes entiers (Hill 2004). Il s'agit notamment d'étendre réglementations relatives à l'utilisation des pesticides pour protéger les pollinisateurs et l'encouragement des pratiques agricoles qui préservent leur santé, en les incluant aussi les considérations commerciales et agronomiques (Biddinger & Rajotte, 2015). Cette prise en compte élargie est justifiée par les liens écologiques entre les plantes cultivées et l'entomofaune, qui entraînent une variabilité dans la productivité des cultures, générant un compromis entre la perte de rendement (i.e. par herbivorie ou dommage des fruits) et l'amélioration du rendement (i.e. par la pollinisation et le maintien de bons nutriments pour les plantes).

Gestion des pollinisateurs et de la pollinisation

Les pollinisateurs jouent un rôle majeur dans les rendements agricoles par la fertilisation puis la production de fruits et de graines (voir encadré 2). Les pratiques visant à gérer, soutenir, protéger et augmenter les populations de pollinisateurs peuvent garantir une pollinisation fiable tout en offrant des avantages économiques importants pour l'agriculture (Kremen et al., 2007). Le concept de pollinisation intégrée des cultures (Integrated Crop Pollination, ICP) a été présenté comme une option pour assurer la stabilité à long terme de la pollinisation et a été définie comme « *L'utilisation d'espèces de pollinisateurs gérées en combinaison avec des pratiques de gestion agricole qui soutiennent, augmentent et protègent les populations de pollinisateurs afin d'assurer une pollinisation fiable et économique des cultures* » (Isaacs et al., 2017). L'optimisation de la pollinisation comme un service supplémentaire nécessite de développer des pratiques de gestion efficaces qui emploient les espèces d'abeilles appropriées pour répondre aux besoins de pollinisation des cultures ciblées (Bartholomée & Lavorel, 2019), comme cela a été implémenté dans certaines régions du monde et certains types de cultures (Klein et al., 2007; Rader et al., 2016; Sagwe et al., 2021). Parmi les espèces d'abeilles identifiées et élevées commercialement pour leur efficacité en tant que pollinisateurs, on trouve les abeilles mellifères (*Apis mellifera*), les bourdons (*Bombus spp*., principalement en raison de leur capacité à polliniser par buzzpollination), et plusieurs espèces d'abeilles solitaires, telles que les abeilles coupeuses de

feuilles et les abeilles maçonnes (familles des *Megachilidae* et des *Halictidae*) (Osterman, Landaverde-González, et al., 2021). Des défis tels que le coût des ruches, la disponibilité d'experts en apiculture, et la compréhension des bénéfices économiques directs peuvent expliquer pourquoi la gestion de la pollinisation reste sous-développée dans d'autres contextes comme les agricultures SHF des LMIC (Garibaldi et al., 2011; Garibaldi, Carvalheiro, Vaissière, et al., 2016).

Encadré 2. La pollinisation et les pollinisateurs

La pollinisation est un processus écologique crucial pour la reproduction des plantes, assurant leur permanence par le transfert de pollen des organes mâles aux organes femelles. Ce transfert peut se faire au sein d'une même fleur ou entre différentes fleurs, menant à la formation de graines et de fruits. Au cours de l'évolution, il y a 140 millions d'années, depuis l'apparition des plantes à fleurs, s'est établie une relation fondamentale avec les insectes pollinisateurs. Favorisée par l'entomogamie, ce processus permet une dispersion efficace de leur matériel génétique, renforçant ainsi leur capacité à s'adapter aux conditions environnementales changeantes. En retour, les pollinisateurs profitent de ressources comme le nectar et le pollen.

La coévolution entre les plantes et leurs pollinisateurs a conduit à des adaptations physiologiques et morphologiques spécifiques. Les fleurs développent des caractéristiques telles que des couleurs vives, des parfums attrayants, et des formes particulières pour attirer des pollinisateurs spécifiques et garantir un transfert efficace du pollen. Les pollinisateurs, quant à eux, ont évolué avec des comportements et des structures spécialisées, comme les proboscis allongés des papillons ou les pièces buccales des abeilles, leur permettant d'accéder au nectar et au pollen.

Les pollinisateurs jouent un rôle majeur dans la sécurité alimentaire mondiale, améliorant la diversité nutritionnelle des régimes alimentaires et soutenant les moyens de subsistance des communautés. Ils jouent également un rôle dans le suivi des processus biologiques, qu'ils soient internes ou externes, par exemple, en utilisant des capteurs ou en collectant des échantillons de produits dans des ruches sentinelles.



Megachile lagopoda (mâle et femelle, sur *Cirsium eriophorum*)

Photo : G. Kerdoncuff
Mont Lozère (Mont Losera), Occitanie, France. 08-2023

De l'IPM à l'IPPM : intégration des pollinisateurs et ravageurs dans la gestion d'insectes

La gestion des ravageurs et de pollinisateurs sont les deux dimensions les plus directement liées au déclin des insectes et aux préoccupations majeures pour les agriculteur·ice·s, ouvrant ainsi la voie à de meilleures perspectives pour maximiser la production et la stabilité des rendements. C'est à cette intersection que se développe le paradigme de la gestion intégrée de ravageurs et pollinisateurs (Integrated Pest and Pollinator Management, IPPM, figure 3). Ce cadre propose des outils pratiques de suivi des populations d'insectes et d'aide à la décision, en mettant l'accent sur les actions bénéfiques à la fois pour le contrôle des ravageurs, tout en tenant compte des particularités de chaque culture et de ses pollinisateurs, favorisant ainsi la durabilité économique et écologique de l'agriculture (Biddinger & Rajotte, 2015; Egan et al., 2020). Ce paradigme se développe de plus en plus dans la recherche interdisciplinaire, avec un potentiel d'intérêt particulier dans les systèmes tropicaux (Merle et al., 2022), et souligne la nécessité de collaboration entre agriculteur·ice·s, apiculteur·ice·s, chercheur·e·s et décideurs (Maas et al., 2021; Merle et al., 2022; Raderschall et al., 2021).

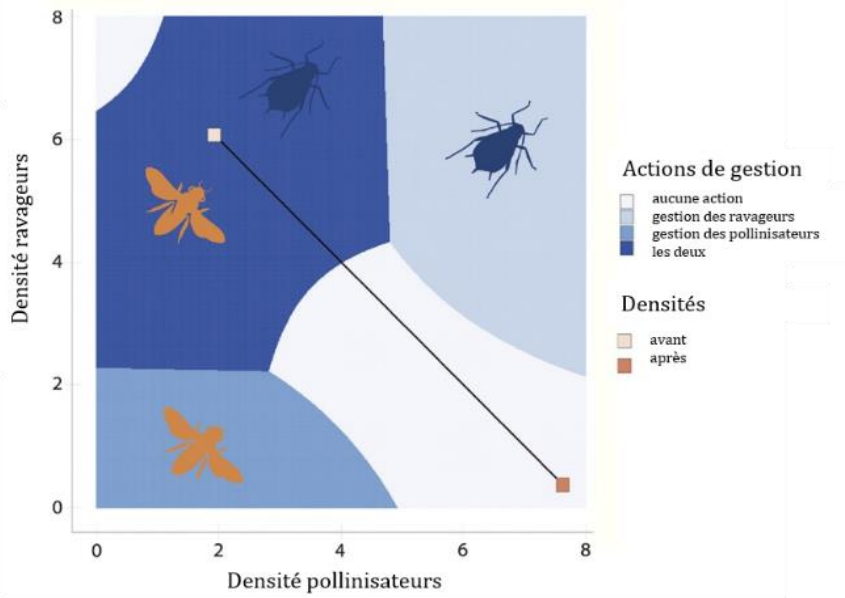


***Figure 3**- La gestion intégrée des ravageurs et des pollinisateurs (IPPM) repose sur l'évaluation des seuils d'intervention, similaires à ceux utilisés dans la lutte intégrée (IPM). Ces mesures fournissent un cadre d'analyse des impacts sur les rendements, incluant les pertes dues aux ravageurs et les déficits de pollinisation. Les seuils d'action déterminent les densités maximales de ravageurs et minimales de pollinisateurs tolérées avant qu'une action ne soit économiquement justifiée (Egan et al., 2020).*

Les études sur les pratiques de gestion des insectes en agriculture cherchent une évaluation plus précise des services fournis par l'entomofaune afin d'aider à orienter des stratégies de production et de conservation plus efficaces (Altieri, 1993). Toutefois, bien que de nombreuses stratégies et politiques de conservation des pollinisateurs aient été proposées, elles sont principalement basées sur des justifications écologiques et ne tiennent pas ou peu compte des facteurs sociaux qui influencent leur mise en œuvre. Dans les agroécosystèmes, les connaissances, perceptions, pratiques et les décisions des agriculteur·ice·s jouent un rôle majeur dans la gestion de la biodiversité, puisque ce sont bien eux et elles les gestionnaires ultimes du paysage à l'échelle locale et régionale. Les divergences entre les connaissances des agriculteur·ice·s et des scientifiques contribuent à des incompréhensions et à une identification insuffisante des contraintes liées aux pratiques de gestion des insectes, engendrant des conflits dans leur mise en œuvre (Maas et al., 2021; Marselle et al., 2020). Intégrer les perceptions des agriculteur·ice·s dans leurs décisions de gestion des insectes, en considérant les croyances et les incitations externes, ainsi que les variations régionales et culturelles, pose des défis qui nécessitent une approche interdisciplinaire, voire transdisciplinaire.

C'est pourquoi, dans cette thèse, la question de changements des pratiques dans la gestion de l'entomofaune agricole ne limite pas l'analyse à une perspective agronomique, mais prend plutôt en compte une série de systèmes interconnectés au sein du système de production. Au-delà des activités agricoles, la transformation de l'agriculture se fait dans les systèmes socio-écologiques impliquant le comportement humain et les interactions avec divers systèmes tels que l'eau, la biodiversité et les plantes cultivées, ainsi que des systèmes sociotechniques avec des dépendances écologiques, biophysiques et géographiques. Par conséquent, cette étude sur les insectes comme points pivots pour la transitions adopte un engagement interdisciplinaire dans plusieurs disciplines et niveaux.

1.2. Les interactions insectes–agriculture dans la transition agroécologique

1.2.1. Agroécologie et approches interdisciplinaires

La transition agroécologique est décrite comme le processus par lequel les agriculteur·ice·s opèrent un passage progressif de l'agriculture conventionnelle à des pratiques basées sur les principes de fonctionnement écologiques au sein des systèmes de production (Altieri et Nicholls, 2017). La généralisation de l'agroécologie pose d'importants défis, car au-delà d'un ensemble de pratiques, ce processus peut être considéré comme un mouvement qui remodèle les liens entre les systèmes de savoirs, les pratiques et le pouvoir (Pimbert, 2015 ; Wezel et al., 2009, Olsson et al., 2017). Cette approche fait appel aux mouvements sociaux et à divers « agents de changement » pour mettre l'accent sur l'autonomie, l'autosuffisance, l'organisation

ascendante et la prise de décision inclusive. Elle vise à innover dans les systèmes socio-écologiques et à mettre en place des systèmes alimentaires durables (Anderson et al., 2019).

L'agroécologie est à la fois une discipline scientifique et une approche pratique de la gestion agricole, intégrant les principes écologiques pour promouvoir des pratiques agricoles durables (Gliessman, 2007). L'agroécologie est apparue comme une alternative à l'agriculture conventionnelle, mettant l'accent sur des pratiques à forte intensité de connaissances et axées sur la biodiversité, comme des stratégies telles que la diversification des cultures et l'agroforesterie (Wezel et al., 2009 ; Altieri et al., 2015 ; Holland et al., 2017). Elle s'est développée aussi vers un sens plus large, avec l'agroécologie politique, en combinant des mesures réglementaires et des approches participatives (De Molina et al., 2019), pour remettre en question l'ensemble du système alimentaire, cherchant leur démocratisation et souveraineté, visant, entre autres, à réduire la dépendance aux intrants externes et aux marchés mondiaux (De Schutter, 2010, Gliessman 2016).

Ces dernières années, l'articulation entre les savoirs des acteurs locaux, agroécologie et l'écologie est devenue un élément central dans la recherche sur les pratiques agricoles durables et le bien-être des populations rurales, en particulier les plus défavorisées et LMIC (Albuquerque et al., 2021; Altieri, 2004). La durabilité des agroécosystèmes a comme défi de concilier la conservation de la biodiversité et la production alimentaire, et il est impératif de prendre en considération les savoirs et les perceptions locales des agriculteur·ice·s pour atteindre ces objectifs (Garibaldi et al. 2017 ; FAO 2022 ; DeClerck et al 2023).

Agroécologie et ethnoécologie

Les systèmes de savoirs locaux, profondément ancrés dans l'expérience et les savoirs collectifs des agriculteur·ice·s, englobent une compréhension singulière de la diversité des agroécosystèmes et des techniques de gestion de ces derniers (Brondízio et al., 2021; Rawluk & Saunders, 2019; Wyckhuys & O'Neil, 2007). En combinant les perspectives culturelles et écologiques, l'ethnoécologie joue un rôle essentiel dans l'étude des savoirs agroécologiques et des relations complexes entre les communautés locales et leur environnement. Les savoirs locaux et scientifiques s'articulent dans l'évolution des pratiques agricoles, pour le cas des insectes dans les pratiques pour favoriser ou au contraire poser obstacle à l'agroécologie, avec des pratiques non durables, non rentables ou socialement inacceptables.

Dans les ethnosciences, l'ethnoécologie étudie les relations entre les cultures humaines et leur environnement, notamment en termes de savoirs des groupes sociaux sur les plantes, les animaux et leurs interrelations, du point de vu de ces sociétés elles-mêmes (Albuquerque et al.,

2014; Anderson, 2011; Nazarea, 1999). L'ethnoécologie s'étend de la compréhension des perceptions culturelles des relations entre les organismes (Ford 1994) à l'application pratique de ces connaissances dans le développement communautaire et la gestion des ressources (Beaucage et al. 1997 ; Posey 1984 ; Toledo 2002). Deux approches dominent la recherche en ethnoécologie, d'une part les études soulignant l'importance de valoriser les connaissances locales et de reconnaître leur adaptabilité à l'environnement (Berlin 1999) et d'autre part, des études « confrontant les classifications des organismes autochtones et occidentales » (Hunn et Ellen 1989, Ford 1999). Bien que l'évolution des sciences naturelles et sociales ait rendu certains de ces courants obsolètes, nombreuses travaux ont porté sur comment et pourquoi les groupes classifient les éléments de leur environnement, notamment les plantes et les animaux (figure 5). Ensuite, et pendant que certain·e·s chercheur·e·s continuaient à explorer les systèmes de classification, l'ethnoécologie s'est portée vers les débats environnementaux, privilégiant d'autres courants axés sur les questions de pouvoir et d'inégalité, tels que l'écologie politique ou l'écologie culturelle des sociétés rurales et agricoles (Amelot et al., 2012; Toledo & Alarcon, 2012).

L'ethnoécologie vise alors à aider à la compréhension et à la gestion des problèmes environnementaux par les pratiques et les croyances que les différents groupes humains ont sur leur environnement et questionne sur la compatibilité entre le développement économique et la conservation des ressources naturelles (Reyes-Garcia & Sanz 2007, Toledo & Alarcon 2012). Dans les études liées à l'agriculture, l'ethnoécologie se concentre sur les pratiques, en mettant l'accent sur la richesse des connaissances ancrées dans ces cultures et sur le soin que les agriculteur·ice·s portent à la gestion des ressources (Altieri, 2002; Carriere et al., 2020; Kull et al., 2013).

L'ethnooécologie s'affirme comme une composante essentielle pour étudier les savoirs des agriculteur·ice·s, en mettant en avant leur potentiel collectif pour accompagner des changements au bénéfice de l'environnement (Altieri, 1993; Faye, 2020; Labeyrie et al., 2021), et en valorisant les contextes culturels locaux (Toledo 2002, Rebaudo & Dangles 2011, Brookfield 2003). L'analyse de ces systèmes de savoirs permet d'identifier les croyances et les pratiques (e.g. les rituels) qui façonnent les actions sur l'environnement, en examinant s'il existe un accord général sur certaines classifications, noms, pratiques ou interprétations écologiques. Selon certaines hypothèses (Hunn 2001 ; hunn 2011 ; Ross 2011), plus les savoirs sont détaillés, plus cela conduirait à des attitudes plus positives et rationnelles envers l'environnement (par exemple, pour la faune sauvage ; Kellert 1993, 1996). Or, bien que les connaissances soient importantes, elles seules ne conduisent pas nécessairement à des changements des pratiques (i.e. agricoles ou de conservation ; Fowler & Lepofsky 2011 ; Correia Medeiros 2022 ; Blanco et al 2013). Les attitudes envers les animaux, par exemple, peuvent aussi être influencées par les valeurs, perceptions et interactions avec eux, favorisant les espèces perçues comme plus proches des

humains en raison de leur comportement, physiologie ou attribution de la capacité à ressentir des émotions (Hunn 2011 ; Pierotti 2011).

1.2.2. Étude des savoirs locaux sur les insectes

L'analyse ethnoécologique distingue les savoirs communs des savoirs individualisés ou spécialisés, identifiant des points de référence partagés (e.g. des unités taxonomiques) et établissant des valeurs communes pour ces unités. Cela contribue à soutenir la préservation à long terme en établissant des façons degérer la biodiversité comprises et partagées par les divers acteurs comme les agriculteur·ice·s, commerçant·e·s, agronomes, et écologues (Irvine et al., 2016). Dans le cas des insectes en agriculture, plusieurs exemples illustrent comment les savoirs ethnoécologiques s'avèrent déterminants dans lutte contre les ravageurs (Price, 2001; Wyckhuys & O'Neil, 2007) et la conservation de pollinisateurs, par exemple à travers les abeilles en tant qu'espèce clé de voûte tant sur le plan écologique que sur le plan bioculturel (Hall & Martins, 2020; Roué et al., 2015). Il est donc impératif de comprendre les facteurs qui peuvent influencer les actions envers les insectes (les perceptions, les croyances, etc).

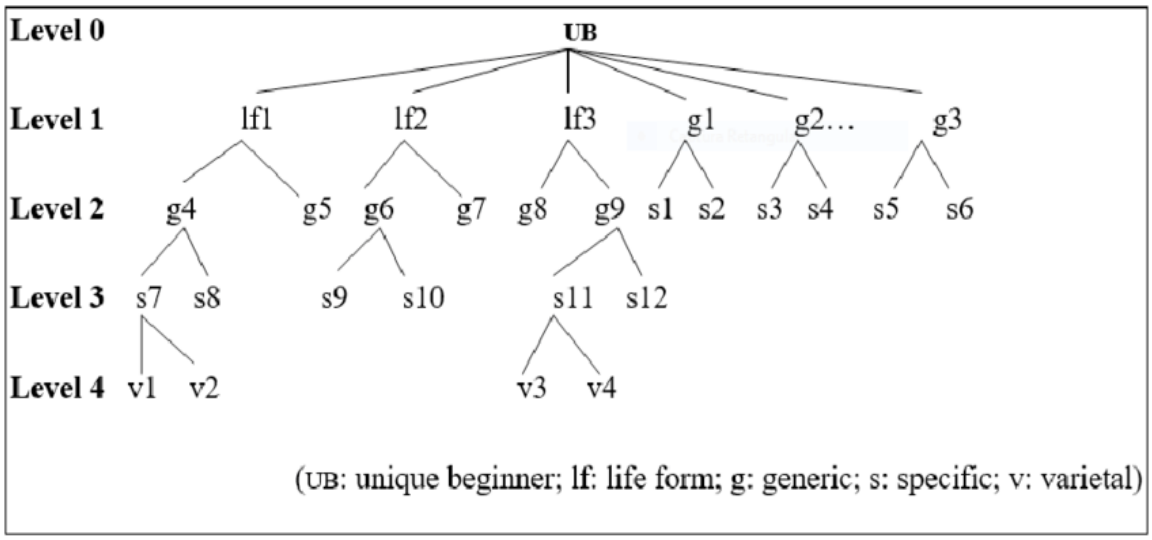


Figure 4 *- Système ethno taxonomique dans l'étude de classification du vivant par les sociétés humaines d'après Berlin (1992). Au sommet, le niveau des formes de vie catégorise les types d'organismes avec des termes primaires comme "arbre". Le niveau générique (L2), légèrement inférieur, contient moins d'unités mais peut parfois atteindre l'importance des formes de vie, constituant ainsi la base de la classification. Le niveau spécifique (L3) regroupe des entités distinctes mais rares. Enfin, le rang de la variété (L4) représente des variations au sein des types spécifiques.*

1.2.3. Ethnoentomologie et la catégorie « *insecte* »

L'interaction constante entre humains et insectes tout au long de l'histoire a assuré leur présence dans divers contextes et a suscité l'intérêt de l'ethnoécologie, donnant lieu au développement de l'*ethnoentomologie*[2] (Hogue 1987, 2003 ; Costa-Neto 2002, Brown 2006). Si bien l'ethnoentomologie demeure moins explorée que d'autres disciplines comme l'ethnobotanique, un nombre croissant d'études s'intéresse aux relations entre les humains et les insectes, touchant aux classifications systémiques et aux pratiques traditionnelles d'entomophagie, aux usages médicinaux ou rituels (Hogue, C. L. 1987, Lecrercq 1999 , Price 2001, Neto et al 2006, Van Huis 2022, IPBES 2016, Guzman-Mendoza et al 2016), ainsi que par des aspects culturels tels que la littérature, la musique, la religion et mythologie et le divertissement (musique, danse, théâtre, cinéma, etc.) (Hogue, 1987, Berenbaum & Leskosky 2003, Heredia et al 2007). Ces interactions entre les humains et les insectes sont également examinées du point de vue des savoirs, des perceptions et des émotions que les individus peuvent ressentir à l'égard des insectes, telles que la peur, le dégoût, ou la fascination (Shipley & Bixler2017, Nathan et al 2017, Lockwood 2013, Lemelin 2013), mettant en lumière leur lien avec des aspects tels que la sacralisation ou leur commercialisation (de la Roca 2018, Santos & Antonini 2008).

La perception et la classification de la classe *Insecta* varient en fonction du contexte culturel selon les conceptions qui y sont associées (Costa-Neto 2000, Gurung 2003, Lima et al 2016). Cette variation désigne des *ethnocatégories*, considérées comme unité représentationnelle, car elle devient une réalisation métaphorique d'autres êtres ou de leurs qualités (Berlin 1992, Greene 1995). Le terme *« insecte »* fait généralement référence à un niveau de classification correspondant à la catégorie de « *life-form* » (Berlin, 1992), figure 4), définissant le niveau le plus large de catégorisation des organismes en groupes apparemment faciles à distinguer sur la base de caractéristiques morphologiques. Ainsi, dans certains cas, la catégorie *« insecte »* englobe des organismes tels que les rats, les chauves-souris, les lézards, les serpents, les crapauds, les vautours, les mollusques, les vers de terre, les scorpions, les araignées, et autres (Gurung 2003, Bentley 2003, Costa-Neto 2000). Dans d'autres systèmes de classification, la forme de vie « *insecte* » est identifiée et décrite non seulement sur la base de caractéristiques morphologiques et biologiques, mais aussi en tenant compte de critères psycho-émotionnels comme des sentiments et croyances (figure 5) (Morris 1996, Santos-Fita et al 2011, Hartel et al 2023, Turner 2022).

[2] Voir Costa-Neto 2002 ; Melic 2002 sur l'utilisation du terme "ethnoentomologie"

Des études ethnoentomologiques ont montré que les insectes peuvent être définis en raison de leur perception comme nuisibles, dangereux, repoussants ou porteurs de maladies (Silva et Costa Neto 2004, Lockwood 2013, Lemelin 2013), alors que d'autres peuvent être exclus de cette catégorie s'ils sont considérés comme inoffensifs, sacrés ou bénéfiques (Brown 1979, Posey 1983, Ribeiro et Marçal Junior 1996, Laurent 1997, Costa Neto et Pacheco 2004). Cette ambivalence résulte des attitudes qui oscillent entre plusieurs valeurs, parfois opposées et s'explique dans certains cas par l'hypothèse de l'ambivalence entomo-projective selon laquelle les individus ont tendance à projeter des sentiments de dégoût, de peur et de mépris sur les animaux associés au groupe culturel des insectes en raison d'un conflit propre ou à un autre être ou objet de la même catégorie (Costa Neto 1999, 2003, Fischer & Santos 2021).

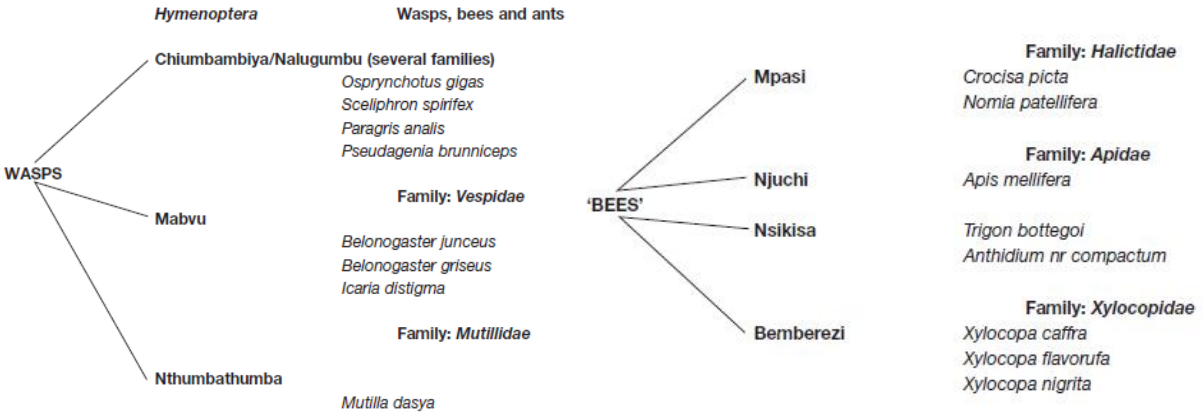


Figure 5 *- Exemple de description ethnoentomologique des Nyanja (Chewa) du Malawi (Morris 1996, 2004) montrant des correspondances entre les catégories génériques et les ordres d'insectes. Certains génériques correspondent à des ordres biologiques, tandis que d'autres se rapportent à des genres et espèces. Parmi toutes les espèces existant au Malawi, seules celles ayant un impact sur la vie humaine sont culturellement reconnues.*

1.2.4. Les interactions entre insectes et agriculteur·ice·s par les systèmes de savoirs et de valeurs

Les savoirs locaux englobent aussi les savoirs relatifs aux institutions sociales et aux systèmes de gouvernance qui favorisent des relations durables avec les insectes. La langue, les systèmes de dénomination, les rituels, la spiritualité et les visions du monde font partie intégrante des savoirs traditionnels. Les dynamiques locales des systèmes de gouvernance jouent un rôle crucial dans la détermination de la durabilité des pratiques de gestion locales (Ostrom 1990, Wanyama et al 2014, Hill et al 2019, Allington 2024). Leur pertinence est ancrée dans la capacité des sociétés à générer, transformer, transmettre, hybrider, appliquer et valider ces savoirs (Albuquerque et al., 2021; Brondízio et al., 2021). Par conséquent, il est essentiel pour l'étude de la biodiversité d'accorder la priorité à une compréhension in situ des savoirs locaux, en mettant l'accent sur un engagement direct avec les valeurs attribuées dans leur contexte culturel plutôt qu'en s'appuyant uniquement sur les connaissances exogènes sur la biologie ou l'écologie.

Plusieurs exemples existent dans l'étude des façons dont les savoirs écologiques traditionnels peuvent être mobilisés dans la gestion des ecosystèmes et agroecosystèmes, et plus concretement dans le cadre de l'entomofaune, lorsque les agriculteur·ice·s connaissent l'importance écologique des insectes, ils et etlles auraient tendance à adopter des pratiques plus durables (Price 2001, Outeiro et al. 2015, Hill et al. 2020). C'est pourquoi, dans le cas d'étude proposé dans cette thèse, l'approche interdisciplinaire (écologie–ethnoecologie) et transdisciplinaire (recherche collaborative) permet la mise en place d'une expérimentation sur les différents apports, positifs et négatifs, des insectes dans les paysages agrioles de petites exploitations, et une analyse des valeurs qui sont attribuées à ces apports, pour mieux comprendre les liens avec les savoirs et actions des agriculteur·ice·s. Nous allons maintenant nous intéresser aux cadres d'analyse qui permettent d'étudier les processus de valuation de la biodiversité, dans lequels se structurent ces liens entre savoirs et actions.

1.3. Attribution des valeurs à la biodiversité

Dans les processus de valuation (*valuation* en anglais ; Dewey 1939, IPBES 2022) des écosystèmes existent différentes suppositions normatives qui décrivent des revendications méta-éthiques implicites sur la manière dont les groupes accordent de la valeur à la Nature, elles sont définies comme ontologies (Craig et al., 2019; Rawluk & Saunders, 2019). Les ontologies façonnent la perception et l'utilisation du vivant par les sociétés, reliant le monde naturel et spirituel et formant les notions de valeur (Descola 2005, 2014, IPBES 2019) (figure 6). Ces ontologies suggèrent différentes approches pour intégrer l'évaluation des relations avec la Nature dans la gouvernance environnementale : en privilégiant des héritages de l'économie néoclassique ou bien en se concentrant sur l'évaluation délibérative et les procédures de prise de décision (Landivar & Ramilien 2017). Ainsi, les sociétés déterminent ce qui est considéré comme préjudiciable, bénéfique ou qui n'a pas de relevance en termes de valeur, et ces valeurs sont construites et contextualisées culturellement, reflétant en retour les systèmes de savoirs, contribuant à des variations dans les comportements, les interactions et les actions et décisions (De Groot et al 2010, Brondizio et al., 2010, Descola 2005).

L'ontologie utilitariste perçoit la nature comme une ressource disponible pour répondre aux besoins humains, mesurant sa valeur principalement en termes d'utilité économique. L'ontologie écologique reconnaît la nature comme un réseau interconnecté, soulignant les relations complexes et les interdépendances entre les différentes formes de vie, alors que l'ontologie holistique considère l'ensemble de la nature comme un système interdépendant, où chaque composant contribue au fonctionnement global de l'écosystème (Plant et al 2016, Martin-Clouaire 2018).

Ontologies du vivant (comment sont perçus les insectes?)	Valeur réalisée (sont valorisés en tant que)	Valeurs (IPBES)	Valeurs associées
Non-antrhopogeénique: expérience directe, comme quelquechose qui se présente par elle-même	Beauté et esthétique : de beaux objets Créatures fascinantes Objets d'un autre type d'expérience	Intrinsèques	VALEUR DE NON-USAGE: Valeur d'existence
Utilitariste : pouvant apporter quelquechose aux humains	Objets utiles ou nuisibles	Relationnelles	VALEUR D'USAGE: Usage direct de biens primaires
Non utilitariste: objets de gouvernance et gestion humaine :	Symboles d'accomplissement		VALEUR D'USAGE: Valeur d'option,
Ecologique: comme éléments d'un système plus vaste et interconnecté	êtres ayant une raison d'être connecteurs créatifs	Instrumentales	VALEUR D'USAGE: Usage indirect
Holistique: faisant partie intégrante d'un ensemble plus vaste et interconnecté (incluant les humains)	Rappels de notre propre place dans la nature Signes d'endommagement ou de rétablissement Points focaux de la responsabilité et de l'action Points focaux de la nostalgie d'un passé idéalisé		VALEUR DE NON-USAGE: Valeur du legs
Analogique: analogues à des êtres humains	Êtres avec des vies propres êtres animées d'un caractère propre Partenaires dans des relations égalitaires	Intrinsèques	VALEUR DE NON-USAGE: Valeur d'existence

Figure 6 *-Les ontologies décrivent décrit comment les éléments de la biodiversité peuvent être perçus et valorisés en tant qu'objets esthétiques, utilitaires, symboliques, écologiques, holistiques, ou analogues aux humains. Divers systèmes de valeurs peuvent être associés aux organismes en fonction de la façon dont ils sont considérés.*

C'est dans l'ontologie utilitariste que s'est développée la notion de services écosystémiques (*Ecosystem Services*, *ES*) axée sur le rôle des écosystèmes dans le soutien de la vie humaine et les fonctions écologiques qui représentent les processus et les interactions qui se produisent au sein de ceux-ci. En considérant comment certaines fonctions écologiques bénéficient directement ou indirectement aux sociétés humaines, les services écosystémiques ont été définis comme *les avantages que les êtres humains tirent de ces fonctions écologiques* (Costanza et al., 1997). Cette conceptualisation a été formalisée dans le cadre du Millennium Ecosystem Assessment (MEA) et a permis de passer d'une compréhension centrée sur la nature aux implications directes pour le bien-être humain.

1.3.1. Les Services écosystémiques et la valorisation économique

Développé à partir du rôle essentiel qui a la biodiversité (cultivée et non cultivée) pour les sociétés humaines, le concept de services écosystémiques a évolué de manière significative depuis son introduction. Au départ sous le terme de « services environnementaux », (Ehrlich & Ehrlich 1981, De Groot, 2002, Constanza et al 1997) le cadrage a été ensuite orientée vers la valeur instrumentale de la Nature, mettant l'accent sur la nécessité d'illustrer, par la métaphore du « service », la dépendance des sociétés aux écosystèmes, devenant, en quelques années un modèle prédominant dans les politiques et la gestion environnementale. Son utilisation croissante, tant dans la communauté scientifique que dans l'action publique, a érigé les « *services écosystémiques* » en un concept central pour la conservation et la valorisation de la biodiversité (De Groot et al. 2002, MA2003, Craig et al 2019). C'est ainsi que se sont dressés de nombreuses méthodes

d'évaluation qui donnaient la priorité à la valeur d'échange (turner 1999, stern 2006, UNEP-TEEB 2010). Avec le temps, cette vision s'est élargie pour englober trois types de services : de soutien, de régulation et culturels (MEA 2005, TEEB2010). Par la suite, durant les années 1990, il y eu une tendance à l'augmentation dans la caractérisation et quantification des écosystèmes dans le cadre de schémas de payement pour services (*Payments for ecosystem services* – PES), dans la formulation des politiques et des décisions gouvernementales (Fisher, Turner &Morling 2009).

1.3.2. Valuation monétaire et non monétaire

Le processus de monétarisation des services écosystémiques comporte trois phases clés : premièrement, la définition des fonctions écologiques en tant que services ; deuxièmement, l'attribution d'une valeur d'échange ; et enfin, l'établissement d'un marché entre les fournisseurs et les utilisateurs de ces services (Kosoy & Corbera 2010). Cette approche a été largement utilisée dans les sciences écologiques et politiques, mais un débat s'est développé en raison, entre autres, de sa focalisation sur la seule valeur économique, bien qu'elle incluait l'évaluation socioculturelle, dans la valeur économique totale (*Total Economic Value* ; figure 7). Diverses valeurs sont ainsi attribuées en fonction de l'utilisation et de la non-utilisation des services écosystémiques, y compris l'utilisation directe, l'utilisation indirecte, les valeurs d'option, les valeurs de legs, les valeurs altruistes et les valeurs d'existence (Diaz et al 2015 ; IPBES 2019 ; Craig 2019). Les valeurs d'utilisation directe impliquent la consommation immédiate de la ressource, tandis que les valeurs d'utilisation indirecte découlent de la contribution de la ressource aux fonctions de l'écosystème. La valeur d'option représente le prix que les individus sont prêts à payer pour conserver un élément en vue d'une utilisation future potentielle. Les valeurs de non-usage comprennent les valeurs d'existence (satisfaction liée à la préservation, indépendamment de l'utilisation personnelle) et les valeurs de legs (satisfaction liée à la préservation d'une ressource pour les générations futures).

Différentes méthodes peuvent être appliquées pour fournir une estimation de la valeur économique des services écosystémiques. L'évaluation contingente explore la volonté de payer ou *Willingness to pay* (WTP) est la somme maximale qu'un individu serait prêt à dépenser pour un produit ou un service et traduit la mesure de la valeur attribuée à une expérience de consommation ou d'utilisation (Bonin 2012, Selivanov 2021). D'autres techniques d'évaluation comptent la préférence révélée (*revealed preference*, RP), estimant la valeur économique des services non marchands en déduisant les préférences individuelles par observation des comportements (Johnston et al2013, wegner & pascual 2011). ; et la préférence déclarée (*stated preference,* SP), basée sur l'offre/demande sur un marché par le biais de simulations (Lienhoop 2018 ; Kroeger 2007, Kontogianni 2010).

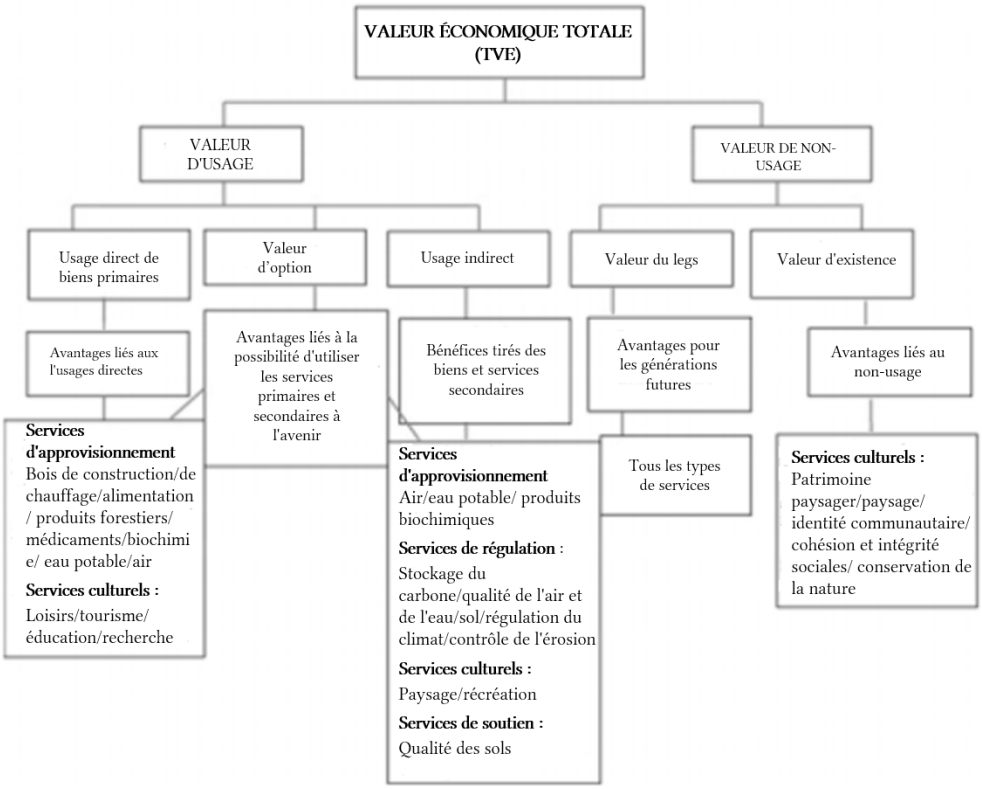


Figure 7 *- Le cadre conceptuel de la valeur économique totale (TEV) considère les avantages que les humains tirent des écosystèmes en fonction de la manière dont les services soutiennent la consommation personnelle (valeurs d'usage) et fournissent des avantages intangibles (valeurs de non-usage). Adapté de IPBES 2016*

En agriculture, les méthodes les plus employées concernent le coût de remplacement, qui visent à estimer la valeur des services écosystémiques en évaluant les coûts associés à leur substitution par des alternatives artificielles (Power 2010 ; Selivanov 2021). Les méthodes de productivité marginale estiment la valeur des services écosystémiques en mesurant leur contribution à la productivité (Power 2010 ; Winfree et al 2011). Par exemple, la valeur des services de régulation des ravageurs peut être quantifiée en comparant les rendements des cultures avec et sans ces services (Gillespie & Wratten, 2017) ; et celle de la pollinisation par les coûts de location ou d'achat de ruches d'abeilles pour polliniser les cultures versus celles où il y en aurait pas (Gallai & Vaissière 2009 ; Breeze et al 2016, voir section 1.1.4). Les méthodes de coûts évités évaluent la valeur des services écosystémiques en estimant les coûts qui seraient engagés pour compenser leur perte ou leur détérioration. Par exemple, les coûts de traitement de l'eau potable en l'absence de services d'épuration naturelle fournis par les zones humides (Selivanov & Hlavackova 2021).

En outre, les valeurs économiques fournissent des informations de base importantes pour l'analyse coût-bénéfice dans la prise de décision en matière de gestion des agrosystèmes et la

formulation de politiques (ie. Subventions de certains types de production comme le bio ou des incitations à la gestion des pollinisateurs) (Faure et al., 2023). La compréhension de ces paramètres est cruciale car ces valeurs influencent la manière dont les agriculteur·ice·s réagissent et soutiennent les politiques agricoles (eg regulation de pesticides). Cette évaluation économique représente un outil précieux pour évaluer l'impact global des changements environnementaux sur le bien-être et pour contribuer à mieux les valeurs économiques associées à l'agrobiodiversité (Stokes et al.2023).

1.3.3. Des services et disservices écosystémiques aux Contributions de la Nature aux Populations (Nature Contributions to People)

D'autres approches des ES mettent davantage l'accent sur les valeurs relationnelles, soulignant que la biodiversité est essentielle pour la cohésion sociale et la diversité culturelle (Karlsson & Bjornberg 2021, Hoelle et al 2022). C'est ainsi que la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES) a se développé un cadre multi-niveaux considérant les **C***ontributions de la nature aux populations (Nature Contributions to people, NCP)* incluant de manière plus exhaustive et symétrique les diverses parties prenantes et visions du monde (Christie et al., 2019; Díaz et al., 2015) (figure 8). D'un côté la perspective globale considère la Nature comme liée à la qualité de vie à travers des valeurs instrumentales, pouvant englober des contributions matérielles et immatérielles, sans toujours être mesurables de manière quantitative. D'un autre côté, la perspective contextuelle reflète les systèmes de savoirs autochtones et locaux, ancrés à des contextes géographiques et culturels spécifiques (IPBES 2015, Dunn-Capper et al 2023).

Ce cadre de valuation des NCP intègre diverses perspectives, tant globales que plus contextuelles (Bruley et al., 2021; Diaz-Montano et al., 2014) (figure 8). Ensemble, ces NCP soulignent l'importance de considérer diverses valeurs et points de vue pour appréhender les liens complexes entre la Nature et le bien-être humain (Christie et al., 2019; Ellis et al., 2019). Allant au-delà des avantages économiques incluant des dimensions culturelles, sociales et spirituelles, cette proposition complémente la perspective utilitaire de la Nature en attribuant aussi de l'importance aux dimensions matérielles et non matérielles (Díaz et al., 2018 ; IPBES, 2019). L'IPBES classe les NCP en dix-huit catégories distinctes, incluant des contributions matérielles, non matérielles et de régulation, englobant un éventail diversifié d'aspects, tels que les bénéfices culturels, esthétiques, éducatifs et récréatifs. Cette approche permet également d'améliorer la production de connaissances en matière de gouvernance environnementale, ce qui devient particulierement intéressant dans les agroécosystèmes SHF et agroforestiers (Allen et al 2021, Wagner et al 2019, Bruley et al 2021).

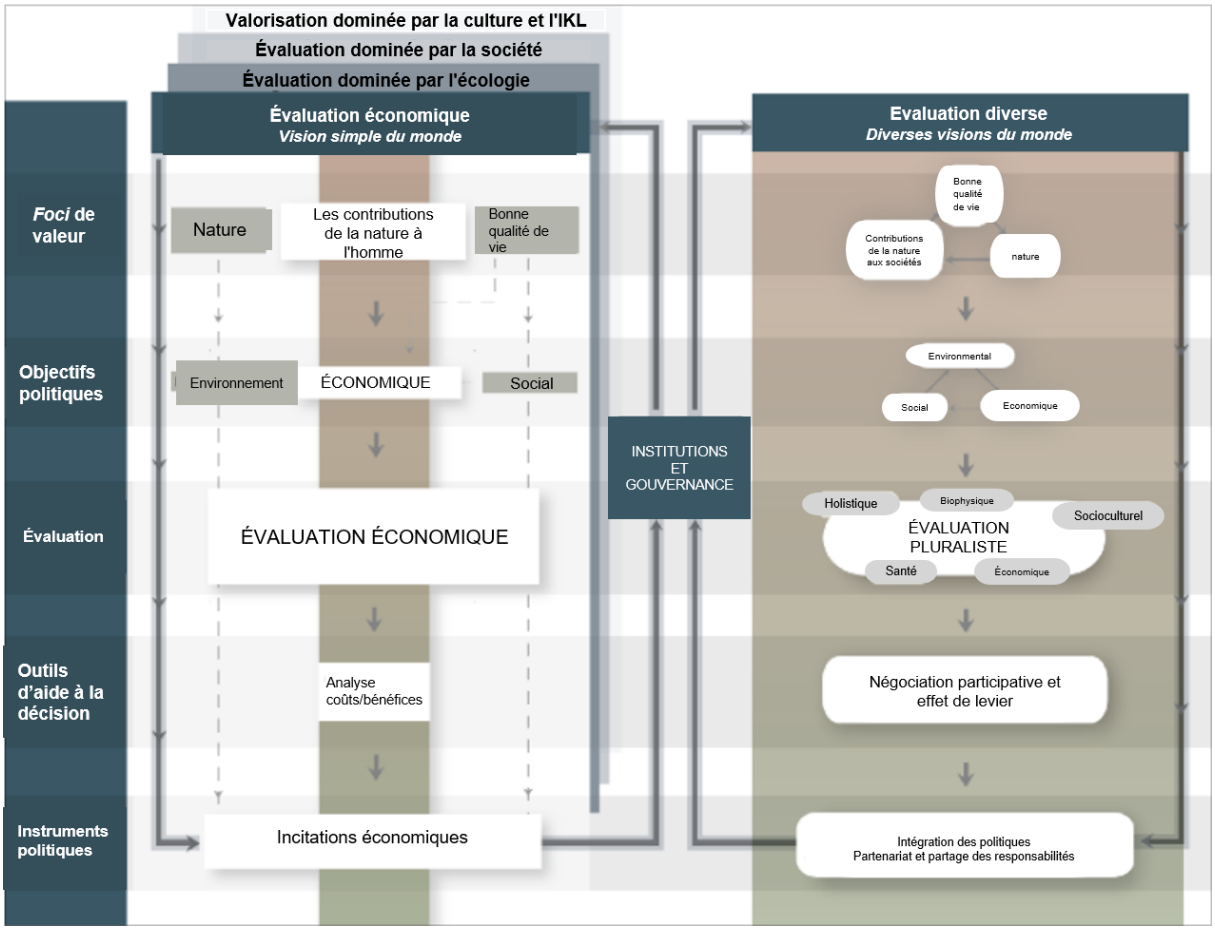


Figure 8 *- Le cadre conceptuel de l'IPBES combine les catégories scientifiques (en vert) avec celles d'autres systèmes de savoirs (en bleu) pour être pertinent pour tous les acteurs. Les flèches montrent les influences entre les éléments : pour les relations principales, et secondaires. Les valeurs anthropocentriques sont intégrées, tandis que les valeurs intrinsèques de la nature restent indépendantes. Les interactions évoluent avec le temps et à différentes échelles spatiales. IPBES 2019, Diaz et al 2015.*

1.4. Les pollinisateurs comme étude de cas pour comprendre les dynamiques entre savoirs, valeurs et actions

La dépendance mutuelle des agriculteur·ice·s et des pollinisateurs souligne l'importance de s'intéresser aux savoirs écologiques locaux (*Local/Traditional Ecological Knowledge LEK/TEK*) sur ces insectes dans les communautés rurales. Dans les contextes des SHF intégrer les savoirs locaux sur les insectes pollinisateurs avec les approches scientifiques, permet de réflechir à des pratiques agricoles qui soutiennent la biodiversité et réduisent l'utilisation de pesticides. Ainsi, l'étude des diverses contributions des pollinisateurs dont la pollinisation, mais aussi d'autres types de contributions, devient essentielle pour comprendre les menaces, risques et défis auxquels ceux-ci sont confrontés, ainsi que les efforts déployés pour les relever.

1.4.1. Le service de pollinisation

La pollinisation illustre bien les défis de l'évaluation des services écosystémiques, notamment ceux fournis par les abeilles domestiques et autres insectes. Malgré son importance, l'évaluation précise de la valeur économique de ce service reste discutée par sa complexité (Hanley et al., 2015). Il s'agit surtout d'assigner une valeur monétaire à la pollinisation en fonction des rendements agricoles. Au fil du temps, les méthodes employées pour quantifier la contribution des pollinisateurs ont évolué, certaines se concentrant sur le coût de la location des ruches et l'optimisation de l'activité des abeilles (Burgettet al, 2004, Mugnier 2020).

Différentes méthodes ont été établies pour mesurer des taux et ratios, comme celui de de dépendance (DR), qui évalue la perte de rendement sans pollinisation, mais avec un risque de surestimation par la non prise en compte de la pollinisation par le vent ou de la diversité d'insectes (Hudewenz et al., 2014). Une autre approche se base sur les coûts de remplacement, en calculant le coût potentiel d'une pollinisation alternative, dont le remplacement animal (AR) ou le remplacement humain (HR) (Allsopp et al, 2008). Ce dernier (HR) implique le calcul du travail nécessaire pour effectuer les taches manuellement. Bien que cette méthode puisse estimer et reflèter l'ampleur des moyens qui seraient nécessaire en cas d'extinction des pollinisateurs, elle est considérée démesurée et inefficace en termes de coûts, ce qui limite son application. En revanche, les stratégies AR par substitution animale comprennent le placement de colonies de divers pollinisateurs (Allsop et al 2008) dont bourdons (Perez-Mendez et al 20219), abeilles sauvages (eg osmia ; Monzon et al 2004) et abeilles mélipones (Osterman et al 2021). Le plus courant étant le déplacement de ruches d'abeilles domestiques dans des zones cultivées pendant la période de floraison en raison de la facilité d'élevage et de leur mobilité (Winfree et al 2011, Klein et al 2018, Allsopp et al 2008).

1.4.2. D'autres services et contributions des pollinisateurs

Au-delà de la valeur économique, les pollinisateurs, notamment les abeilles, apportent des bénéfices culturels et spirituels, mais qui restent difficiles à quantifier économiquement (Roué et al 2005, Santos et al 2008, IPBES 2016, Heger et al 2023). Le cas des abeilles revêt une importance particulière en tant qu'un des premiers animaux domestiqués, comme en témoignent les premiers signes de ruches remontant à une date ancienne (~10 000 ans) (Roué et al 2015, Prendergast 2022). Cette domestication ancienne a engendré des relations complexes entre humains et abeilles, par des aspects sacrés, utilitaires, matériels et immatériels. Les abeilles ont été des sources d'inspiration constantes dans divers domaines culturels tels que l'art, la littérature, le folklore et la religion (Montalba et al 2020). Bien que l'abeille mellifère soit généralement évoquée, il existe de milliers d'espèces d'abeilles (environ 20 000 dans le monde). Dans les régions tropicales, les personnes entretiennent, depuis des périodes très anciennes, des relations tout aussi significatives avec les abeilles sans dard locales (mélipones) et d'autres espèces d'abeilles sauvages (Roué 2005, Perez& Martins 2008, Quesada et al 2018, Roubik, Prendergast et al 2021). Chez les peuples Amazoniens Maykuna, Yukuna, Letuama, Matapi, Tanimuka et Kayapo, les abeilles inspirent des rituels et font partie des éléments dans les cérémonies de soins. De même, dans de nombreux cas, les relations abeilles-humains ont révélé l'attention minutieuse portée envers la variété des espèces et de leurs comportements, dans le cas des abeilles transcendent leur utilité alimentaire, devenant ainsi à la fois des sources de réflexion et de subsistance (Lévi-Strauss 1966, Tsing 1995, Tengberg et al., 2012, Athayde 2015, IPBES, 2016, Olana & Demrew 2018).

Dans certains contextes, il existe une sensibilisation générale sur l'importance des pollinisateurs et les communautés locales seraient prêtes à soutenir leur conservation, mais le niveau de préoccupation peut varier en fonction des espèces (Hall & Martins 2020, Aldasoro et al 2023). Dans certains cas, les personnes peuvent classer les abeilles en fonction de la qualité de leur miel, de leur nourriture et de leurs habitudes de nidification, mais aussi considérer que les abeilles ont comme fonction exclusive la production de miel et de propolis, méconnaissant leur rôle dans la pollinisation (Beltrán-Tolosa et al., 2020; Tarakini et al., 2020). Le manque d'information peut contribuer à la perception que d'autres espèces d'abeilles plus petites ou différentes soient systématiquement considérées comme des insectes dangereux (Costa-Neto 2003). Dans d'autres cas, les pratiques agricoles sont profondément ancrées dans l'observation de certains aspects de la dynamique écologique locale (e.g. reseaux plantes-pollinisateurs) et les cycles saisonniers cruciaux à la fois pour les abeilles et la flore dont elles dépendent (Misganaw, 2017; Osterman, Landaverde-González, et al., 2021).

II. Cadrage méthodologique et du programme de recherche collaboratif

1.1. Cadre méthodologique

Cette thèse s'articule donc autour des contributions de l'entomomfaune agricole, en se confrontant aux défis de transition agroécologique et sociale, promouvant la recherche collaborative. Nous allons voir comment s'est structurée cette recherche dans l'échange d'informations entre les acteurs locaux (communautés rurales, experts académiques et techniques) pour favoriser un cadre inclusif et interactif qui nous a permis d'identifier et analyser les facteurs influençant le choix des agriculteur·ice·s dans l'implémentation des pratiques favorables aux pollinisateurs (pollinator-friendly en anglais), ou au contraire, les obstacles à la mise en place de celles-ci.

1.1.1. Contexte interdisciplinaire et transdisciplinaire

Cette étude reconnaît les défis inhérents à l'adoption d'une approche inter et transdisciplinaire, surtout dans les limites traditionnelles des disciplines, utilisant des méthodes spécifiques pour résoudre des problèmes (concept « *problem-based* » de la science de la durabilité). L'alignement des principes transdisciplinaires avec les attentes des acteurs agricoles en termes de résultats empiriques peut s'avérer complexe, car il y a souvent eu une préférence pour des résultats théoriques par rapport à leur applicabilité pratique. Notre étude de cas vise à illustrer comment la recherche peut être mobiliséé tout en répondant aux préoccupations des agriculteur·ice·s et des chercheur·e·s en termes d'agenda et de qualité des résultats. Il a été donc un point essentiel de notre démarche de mesurer et aborder les perceptions et la gestion des insectes par les agriculteur·ice·s dans différents scénarios de production et afin de fournir des explications/recommandations pertinents et spécifiques au contexte de la Sierra Equatorienne.

Pour constituer une approche transdisciplinaire efficace, l'engagement continu des agriculteur·rice·s et d'autres acteurs (e.g. des apiculteur·rice·s) est primordial tout au long du processus, particulièrement lorsque l'objectif de l'étude est de concevoir et de mener un projet jugé pertinent et réalisable par les agriculteur·rice·s, qu'ils et elles pourraient soutenir dans la durée. Cette méthode facilite les interactions transdisciplinaires, y compris entre les disciplines scientifiques et avec les parties prenantes non académiques investies dans le processus de transition. Cette approche cherchait à transcender la dichotomie entre pratique scientifique et savoirs locaux et tacites en incorporant des éléments provenant de diverses méthodes d'acquisition/transmission des savoirs (Fazey et al., 2006). Notre étude de cas dans les Andes tropicales offre une illustration concrète de cette approche transdisciplinaire dans la mesure où

le travail a été réalisé avec le soutien du Programme de Recherche Collaborative sur les Cultures (Collaborative Crop Research Program, CCRP) de la Fondation McKnight[3], qui vise à promouvoir l'agroécologie en Afrique et dans les Andes tropicales. Ce programme structure un réseau de Communautés de Pratiques (CdP), dont la CdP andine axée sur la petite agriculture familiale dans les hautes terres de Bolivie, d'Équateur et du Pérou. L'appartenance à cette CdP a été essentielle car elle a permis des échanges et collaborations avec les réseaux locaux d'agriculteur·ice·s et chercheur·e·s locaux tout en intégrant les connaissances et les besoins des agriculteur·ice·s locaux à différentes étapes du processus de recherche et ainsi apporter à répondre à des questions à l'échelle régionale et globale.

1.1.2. Méthodologies et données de l'étude

Dans la description proposée ici, seront abordées les méthodologies des sciences sociales mobilisées dans le cadre de notre recherche participative, notamment celles en lien avec la sociologie, l'ethnographie et l'anthropologie. Nous nous appuyons sur la complémentarité des données socioéconomiques, sur les savoirs et perceptions, avec des données agronomiques et écologiques, y compris les rendements, la pollinisation et la diversité des insectes, pour nos analyses. Ces données ont été collectées lors du travail de terrain mené en Équateur sur une période d'un an et demi, dans le cadre du Programme de Recherche Collaborative (CCRP). Ces méthodes comprennent l'observation participante, des enquêtes et entretiens semi-structurés, et des séances de formation et discussion autour des insectes complétés avec des *freelistings* et *pile-sorting* (Tableau 1, figure 9 et figure 10).

***Tableau 1**- Méthodes mobilisées pour l'acquisition des données selon les différents objectifs de la thèse*

Données	Objectifs	Méthodes
Savoirs locaux sur les insectes	Inventaire et caractérisation des savoirs et perceptions sur les insectes	Ethnoécologie: freelisting systems de classification, identification, entretiens semi-directifs, enquêtes, observation participante
Gestion des insectes	Choix de pratiques de gestion	Observation participante, entretiens semi-directifs, enquêtes, échantillonnage par piégeage entomologique et observation des visites florales
Données socio-economiques	Caractérisation profils socioéconomiques	Entretiens, enquetes, ateliers participatifs et suivi des activités (durée, matériaux utilisés)
Données écologiques	Identifier et classifier les rôles des insectes en relation à l'agrosystème	Enquetes, ateliers et discussions de groupe, échantillonnage par piégeage entomologique et observation des visites florales, mesure des rendements sur les plantes de Lupin
NCPs et liens savoirs-valeurs- actions	Reporter systématiquement les savoirs locaux dans le cadre d'analyse des NCP	Entretiens semi-directifs observation participante, bibliographique

[3] https://www.ccrp.org/

Les enquêtes et entretiens portaient sur le contexte socio-économique et les perceptions de l'entomofaune dans les parcelles de lupin, ainsi que sur les activités agricoles, le temps consacré et coûts qui y sont associés. Dans l'étude des savoirs et perceptions, des photographies illustrant des insectes ravageurs ou non, les symptômes et les dommages sur des plantes de lupin ont été utilisées, ainsi que des images et boites entomologiques pour l'identification des organismes évoqués par les agriculteur·ice·s pendant les freelists et les entretiens. De plus, les notes de terrain et l'observation participante à des moments clés du cycle du lupin ont été utilisées pour documenter les pratiques agricoles dans leur contexte et pour observer les interactions entre les agriculteur·ice·s autour des questions concernant les insectes. Enfin, lors des discussions de groupe des indicateurs ont été évoqués et les actions de gestion hiérarchisés pour évaluer les l'importance sociale, écologique et économique des valeurs et motivations recensées. Cette multiplicité de méthodes a permis ultérieurement d'analyser de façon holistique les perspectives des agriculteurs dans l'analyse de la durabilité agricole.



Figure 9 *- Methodes de recueil de données de ce traval de thèse incluant échantillonnage entomologique, expérimentation de la pollinisation sur les parcelles, enquêtes, observation participante et ateliers participatifs avec les agriculteur·ice·s de la zone d'étude.*

Le schéma ci-dessous présente un résumé des éléments étudiés dans cette thèse, combinant sciences sociales, agriculture et écologie pour co-construire les connaissances avec les agriculteur·ice·s afin de catégoriser les systèmes de production de lupin.

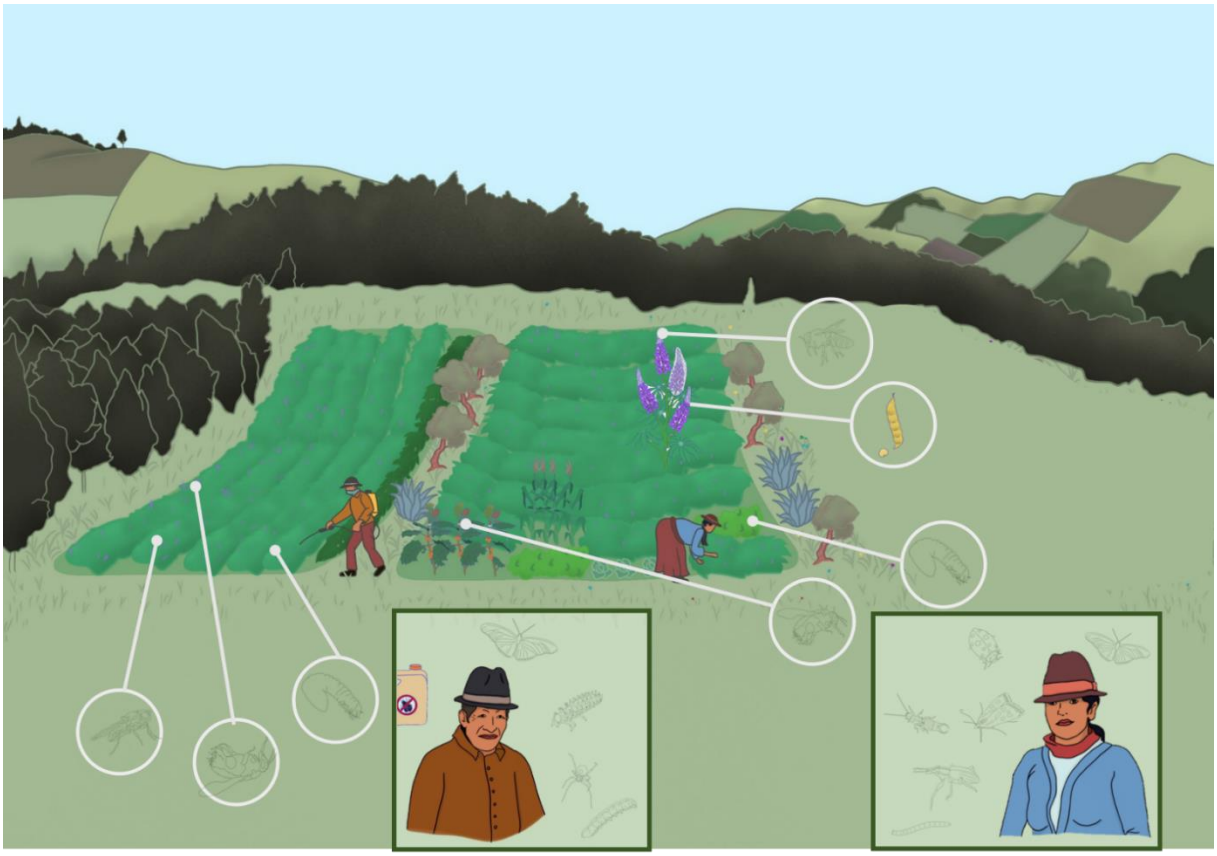


Figure 10 *- Schéma représentant le l'organisation du recueil des données écologiques (entomologiques), agricoles (de rendement) et socioculturelles (enquetes et méthodes d'ethnoecologie) de cette thèse, dans l'objectif d'étudier les dynamiques socio-écologiques de l'utilisation des pesticides et la gestion des insectes dans des stratégies contrastées*

1.2. Objectifs et hypothèses

Comme il a été montré dans la première partie, l'agriculture de petite échelle fait face à de nombreux défis pressants, tant dans les dimensions écologiques, agronomiques, économiques et sociales. Les insectes et leurs rôles négatifs et positifs représentent un grand intérêt pour l'étude des dynamiques de changement vers des systèmes agricoles plus durables. Pour répondre aux questions qui se posent sur les mécanismes de ces changements, cette thèse s'inscrit vise à intégrer l'étude des processus écologiques et socio-économiques pour mieux comprendre et considérer des scénarios favorables à la fois à la biodiversité et aux agriculteur·ice·s (Figure 11). Notre étude vise à comparer différentes pratiques chez les agriculteur·ice·s équatorien·ne·s, à travers l'identification, l'évaluation et la quantification des avantages et préjudices, tant

monétaires que non-monétaires liés aux insectes ravageurs et pollinisateurs. L'objectif de cette thèse est donc double : comprendre les effets de l'entomofaune sur les agrosystèmes andins, et, réciproquement, les effets des humains sur ces insectes (i.e. la relation des agriculteur·ice·s avec eux et les actions qu'il·elles mènent pour les tuer ou les favoriser).

Le manque de données de terrain constitue une brèche importante pour l'étude de cette hypothèse, en particulier dans les agroécosystèmes de petite échelle. C'est pourquoi est ici développée une approche adaptée de l'IPPM (integrated pest and pollinator management ; Egan et al., 2020) par une analyse des rendements et des bénéfices associés pour évaluer les impacts d'utilisation des pesticides, à la fois sur l'entomofaune, sur les rendements et sur les revenus des agriculteur·ice·s L'hypothèse principale concerne ici le potentiel de réduction des pesticides en utilisant des stratégies de gestion intégrée des insectes pollinisateurs et ravageurs, en examinant les compromis qui permettraient de compenser ou d'améliorer les rendements agricoles en favorisant la diversité des insectes et le service de pollinisation. De manière complémentaire, il s'agit d'identifier et d'intégrer la diversité des contributions et des valeurs associées à l'entomofaune, à travers les savoirs et les dynamiques sociales dans ces systèmes agricoles.

1.2.1. Objectifs et questions de recherche

Dans ce manuscrit, nous aborderons trois objectifs principaux, structurés en quatre parties : dans la première partie, nous posons le cadre théorique et le contexte scientifique de notre étude. Le **premier objectif** de la thèse consiste à avoir une vue d'ensemble des rôles des insectes dans les systèmes agricoles, particulièrement pour l'agriculture de petite échelle. Cet objectif comprend d'une part un cadrage théorique, pour situer le sujet d'étude dans la littérature scientifique globale sur l'étude des insectes dans les systèmes agricoles, et, d'autre part, cette à nourrir réciproquement des réflexions plus globales avec des données de terrain des systèmes souvent sous-représentés.

Ensuite, nous aborderons le travail de terrain où a été effectuée la caractérisation des motivations, savoirs et perceptions des agriculteur·ice·s concernant l'entomofaune locale ; et d'autre part, le travail expérimental du service de pollinisation. Dans cette partie, le d**euxième objectif** vise à proposer des apports pour la caractérisation de la diversité entomologique, et des savoirs et valeurs associées. Avec une démarche interdisciplinaire, dans le cadre d'analyse de l'IPBES, cette partie de la thèse s'intéresse aux relations entre les savoirs, les valeurs et les actions des agriculteur·ice·s afin d'identifier les leviers pour une gestion agroécologique des insectes.

L'étude de terrain aborde ensuite le **troisième objectif,** consistant à évaluer les synergies et compromis entre les différentes pratiques de gestion agricole concernant les pollinisateurs.

L'objectif est de cette partie est de quantifier de manière expérimentale le service de pollinisation et proposer aussi une première analyse économique pour réfleter les scénarios de gestion intégrée et explorer des options envisageables tant dans les dimensions économiques et écologiques pour les agriculteur·ice·s.

1.2.2. Structure du manuscrit

Cette thèse est organisée en quatre parties, la **première partie** de contextualisation du sujet étant l'introduction générale (chapitre 1), avec une première partie d'introduction thématique, puis une deuxième partie expliquant la méthode générale et le contexte du travail de terrain. Cette première partie contextuelle inclut l'article de revue de la littérature (chapitre 2), publié en 2022 dans *Current Research in Environmental Sustainability*. La **deuxième partie** est constituée de deux articles, correspondant aux chapitres 3 et 4, sur la caractérisation de la diversité écologique et du système de savoirs de l'entomofaune à partir du travail de terrain (chapitre 3), ainsi qu'une analyse et synthèse à travers le cadre de l'IPBES des Contributions de la Nature aux Populations (chapitre 4). La **troisième partie** comporte la partie expérimentale des pratiques de gestion des insectes, notamment par l'évaluation du service de pollinisation (chapitre 5). La **quatrième partie** contient le dernier chapitre (chapitre 6), qui offre une discussion générale sur la thèse et ses contributions. Pour guider la lecture, le tableau ci-dessous résume les questions abordées dans la thèse et les réponses apportées dans chaque partie par les différents articles.

Tableau 2 *Thématiques et stratégies de recherche développées pendant la thèse*

Composante	Thématique	Chapitre
Contexte global du sujet	Rôles et fonctions des insectes dans les systèmes agricoles de petite échelle (ES EDS)	1 , 2, 3
Caractérisation de l'agrosystème	Les savoirs, perceptions et valeurs associés aux insectes en lien avec les pratiques agricoles	3, 4, 5
Expérimentation collaborative	Expérimentation de la gestion du service de pollinisation	5
Transition agroécologique	Propositions et perspectives sur les dynamiques de changement vers des pratiques agricoles sans pesticides	5 et 6

1.3. Description du contexte agricole des Andes et des sites d'étude

A l'échelle globale, l'agriculture de petite échelle (smallholder farming, SHF) concerne de nombreuses exploitations traditionnelles qui sont indispensables pour la souveraineté alimentaire et l'autonomie de nombreuses populations, les modes de vie ruraux et la biodiversité (FAO, 2014, 2017)(figure 11). Le terme englobe un large éventail d'activités agricoles, notamment la culture, l'élevage et l'agroforesterie, souvent pratiquées dans des environnements diversifiés et aux ressources limitées, impliquant des réseaux de producteur·ice·s, des marchés locaux etc. Dans la grande majorité des cas, ce type d'agriculture dans les pays à faible revenu s'appuie sur les ressources locales et les savoirs écologiques locaux, favorisant ainsi la diversité et la résilience des petites exploitations, gérées selon des pratiques traditionnelles telles que les terrasses et les polycultures, produisant des denrées alimentaires (FAO, 2017). En cultivant une large diversité d'espèces et de variétés dans des dispositions spatiales et temporelles spécifiques, ces agroécosystèmes se sont dans certains cas montrés plus résilients face aux risques tels que les inondations, les sécheresses plus fréquentes et sévères, ainsi que les conditions de chaleur ou froid extrême. Néanmoins, leur vulnérabilité face à ces risques est accrue par les conséquences négatives des transformations de l'agriculture évoquées en introduction (FAO, 2016; IFAD, 2013).

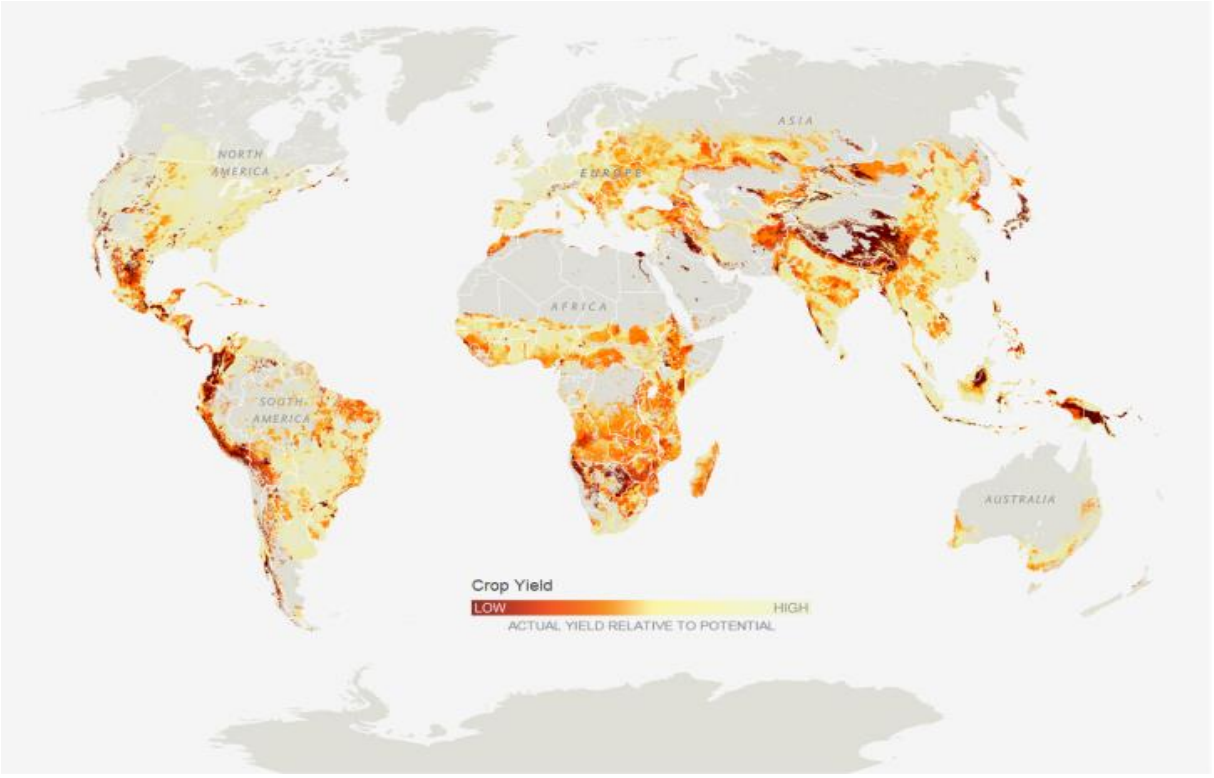


Figure 11 *- Carte des rendements agricoles à l'échelle mondiale, les couleurs indiquant les variations du rendement réel par rapport au rendement potentiel. Les zones rouges indiquent les systèmes agricoles où le rendement réel est nettement inférieur au rendement potentiel. À l'inverse, les régions de couleur plus claire ont des systèmes agricoles où le rendement réel correspond étroitement au rendement potentiel, ce qui indique une grande efficacité et une perte de rendement minimale.*

Ces transformations agricoles se déroulent dans un contexte socioéconomique qui impacte particulièrement les régions tropicales des pays aux faibles revenus. En Amérique latine, à la fin des années 1980, environ 16 millions d'unités de production paysannes occupaient près de 60,5 millions d'hectares, représentant 34,5 % des terres cultivées (Berdegué & Fuentealba, 2014; FAO, 2014).

Dans les Andes tropicales d'Amérique du Sud (Bolivie- Pérou – Equateur – Colombie), les régions montagneuses abritent une grande diversité de paysages caractérisés par des conditions environnementales extrêmes et des terrains difficiles d'accès. Leur diversité et leur importance écologique en font d'importants fournisseurs de ressources essentielles telles que la production alimentaire, le bois, l'eau et les minéraux. Comme de nombreuses régions montagneuses, les écosystèmes andins sont très sensibles au changement climatique, ce qui accroît les risques de catastrophes écologiques et sociales et sont aussi confrontées à des risques naturels tels que l'activité sismique et volcanique intense. En raison de leur position tropicale, ces régions connaissent peu de variation des heures d'ensoleillement tout au long de l'année (i.e. pas de saisonnalité comme dans les régions tempérées), ce qui entraîne des amplitudes thermiques diurnes importantes pouvant dépasser les 30ºC, contrairement aux variations mensuelles moyennes de température qui restent faibles (autour de 2°). Il existe une saisonnalité marquée en ce qui concerne les précipitations, par un régime annuel contrasté, avec une variabilité interannuelle significative due aux phénomènes El Niño/La Niña, ce qui se traduit par une imprévisibilité des précipitations.



Figure 12 *- Exemples d'agriculture de montagne dans les Andes qui s'est traditionnellement adaptée aux conditions environnementales locales : (a) Terrasses agricoles dans la communauté San Isidro de Pujili (Equateur), témoignant de la persistance des pratiques agricoles traditionnelles notamment pour l'utilisation de l'eau ; (b) Site archéologique de Moray au Pérou, illustrant les aménagements agricoles complexes des Incas, caractérisés par des terrasses en cercles concentriques créant un gradient de microclimats, avec des températures plus élevées au centre et plus basses à l'extérieur, simulant jusqu'à 20 microclimats différents.* Photos : T. Cardenas

Les populations des Andes ont développé historiquement une résilience face à l'incertitude climatique en pratiquant des échanges de produits alimentaires entre différentes altitudes, selon des gradients altitudinaux (figure 12). Cette adaptation a donné lieu à une grande biodiversité, avec des cultures adaptées aux conditions de chaque étage bioclimatique, entre des cultures tropicales dans les basses terres, des cultures comme la pomme de terre et le quinoa dans les hauts plateaux et un pastoralisme prédominant au-delà de 4000 mètres (Robles-Mendoza 2009). Leur utilisation de terrasses en gradins, de canaux d'irrigation et de techniques avancées de conservation de l'eau, comme les qanats et les réservoirs, témoigne de leur ingéniosité pour maximiser les rendements et minimiser les risques environnementaux. De nos jours, la plupart des régions des Andes pratiquent une agriculture familiale sur de petites parcelles, héritage des réformes agraires des années 1950. La colonisation européenne a entraîné une cohabitation de différentes cultures humaines dans les paysages andins, comprenant les Quechuas, les Aymaras, les mestizos et les blancs. Cette diversité écologique et socio-culturelle favorise une grande variété de pratiques agricoles dans la région (Assadourian, 2005; Herrera & Ali, 2009).

Contrairement à l'agriculture axée sur les innovations techniques, l'agriculture andine s'est développée en privilégiant une organisation sociale complexe et communautaire basée sur l'échange réciproque, avec des systèmes traditionnels anciens coexistant avec de nouvelles pratiques propres à chaque région ou communauté. Par ailleurs, la gestion de certains biens devient une responsabilité partagée, avec une participation régulière de la communauté pour leur entretien. Certains produits sont cultivés sur de petites surfaces attenantes aux maisons et jardins partagés, tandis que certains pâturages restent ouverts. La *minga* et l'*ayni*, sont des formes d'échange de travail communautaire qui demeurent courantes pour effectuer des taches telles que la construction de toits ou le travail des champs contre des rémunérations partielles pouvant être de la nourriture , des boissons ou du travail collectif en retour (Faas, 2017; Lyle, 2017).

L'influence significative de l'industrie agrochimique dans les pays andins, conjuguée à une réglementation moins contraignante sur les pesticides, permet la commercialisation de produits très toxiques interdits dans d'autres pays, principalement dans l'UE, ce qui a des conséquences dévastatrices pour les agriculteur·ice·s de la région. Cette problématique est particulièrement préoccupante pour les cultures traditionnelles, où les données biologiques peuvent être limitées et les alternatives aux pesticides faire défaut. En conséquence, les agriculteur·ice·s se tournent généralement vers les fournisseurs locaux de pesticides, de qui ils·elles n'obtiennent des conseils pertinents qu'en moins de 12% des cas (Struelens et al., 2022). Cette influence de l'industrie agrochimique se combine à de nombreuses incertitudes concernant les facteurs économiques tels que la fluctuation des prix des produits agricoles comme la pomme de terre en Équateur et le quinoa en Bolivie, ce qui crée des défis supplémentaires pour les agriculteur·ice·s andin·ne·s.

1.3.1. Contexte de la région d'étude : la province du Cotopaxi dans la Sierra Equatorienne

Les défis mentionnés sont particulièrement marqués dans les Andes centrales, où se déroule l'étude présentée dans ce manuscrit. Nous explorerons dans cette section certains éléments spécifiques du contexte de la sierra Equatorienne, qui mettent en lumière l'importance d'aborder ces problématiques d'une façon transversale.

Dans la région de la sierra Equatorienne, l'agriculture de subsistance et le travail salarié sont les principales sources de revenu, impliquant souvent la migration temporaire des hommes des zones rurales vers les centres urbains. Les agriculteur·ice·s y cultivent principalement du maïs, des pommes de terre, des fèves, de l'orge, du quinoa, des oignons et des variétés locales de tubercules. La vente de lait et bétail, en particulier des moutons, cochons d'inde et porcs, contribue aussi aux revenus.



***Figure 13**- Paysage agricole des Andes Equatoriennes dans la province de Cotopaxi où le travail de terrain a été mené pour cette thèse (Pujili). Photo : T. Cardenas 2021*

Située dans la Sierra Centrale, la province de Cotopaxi est une région caractérisée par des volcans et des pics enneigés tout au long de l'année (figure 13, figure 15 b). L'altitude moyenne est de 2 850 m pour la zone d'étude (autour de la ville principale, Latacunga, 161 447 hab.). Dans cette province sont principalement cultivés le maïs, l'orge, les pommes de terre, pour la consommation locale et nationale ; et brocolis et fleurs pour l'exportation (vers l'Europe et les Etats-Unis). Dans les zones plus basses (limites vers la partie ouest de climat subtropical), on y cultive cacao, bananes, café et canne à sucre, ainsi que certains fruits tropicaux. De grandes étendues sont aussi utilisées pour le pâturage, pour produire de la viande et des produits laitiers. Le canton de Latacunga est habité par des populations rurales métisses hispanophones et communautés indigènes kichwa, dont plus de 83% recensée en situation de pauvreté et 44% dans l'extrême pauvreté (INEC 2022). Les taux de pauvreté de la province Cotopaxi la placent parmi les

plus pauvres du pays. Les cantons ruraux avec une population indigène sont les plus touchées par la pauvreté, comme Guangaje, Canchagua, Isinliví, Zumbahua et Chugchilán (entre 96 et 99 % de la population en dessous du seuil de pauvreté) (INEC 2022).

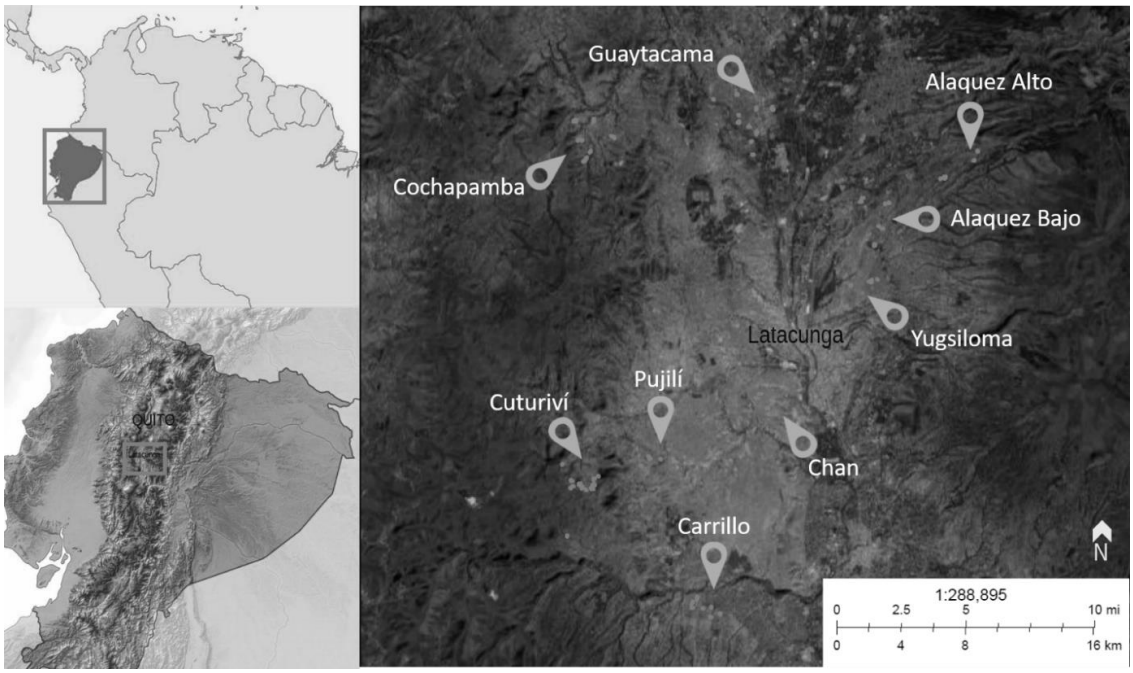


Figure 14 *- Carte de localisation des sites d'étude et de la province de Cotopaxi en Equateur*

Les exploitations agricoles faisant objet de notre étude se trouvent dans les localités Alaquez, Guaytacama, Pujili et Yugshiloma (figure 14), dans une zone bénéficiant de la proximité à Latacunga, qui sert de centre économique et social, abritant des installations essentielles telles que des marchés, centre de santé et des écoles. Ces communautés ont été choisies en raison de leurs caractéristiques de production agricole représentative des systèmes andins (figure 15 a, c) et de leur collaboration de longue date avec nos équipes de recherche dans le cadre du programme CCRP (fondation Mcknight), évoqué précédemment.

La diversité de paysages dans la province du Cotopaxi reflète la complexité de l'agriculture de haute montagne dans les Andes tropicales. Des des terrains agricoles à forte pente sont structurées dans un paysage en mosaïque, où de petites parcelles cultivées sont juxtaposées à des zones boisées ou semi-naturelles (figure 15 c, d) ; et à des plus grandes surfaces pour les cultures de rente évoquées précédement. Malgré les contraintes topographiques et climatiques, cette structure hétérogène des paysages permet une certaine résilience face aux défis environnementaux et économiques.

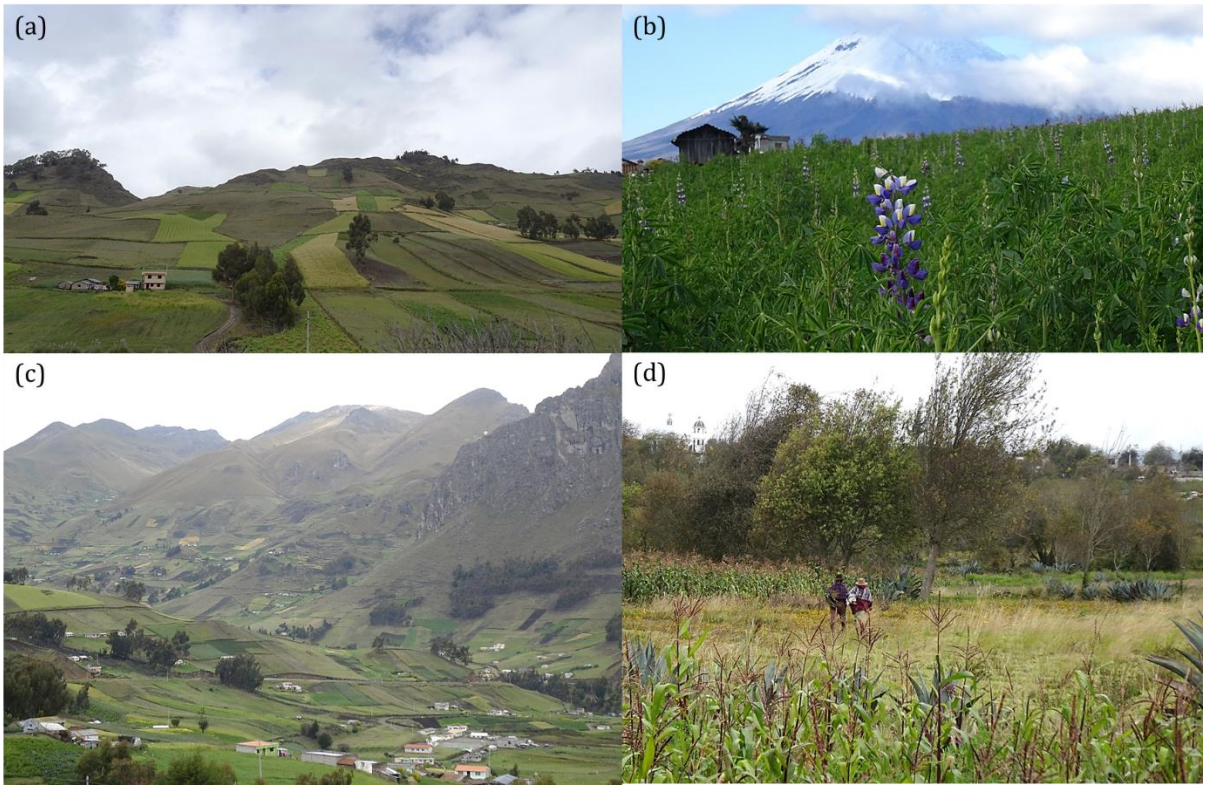


Figure 15 *- Paysages agricoles des Andes Equatoriennes dans la Province du Cotopaxi, zone d'étude de cette thèse, illustrant (a et c) l'imbrication spatiale des petites parcelles, (b) l'influence des risques climatiques liés aux écarts de températures, et (c) la complexité des paysages avec plusieurs cultures et habitats semi-naturels.*

1.3.2. Le modèle de culture du Lupin Andin

Malgré leur rôle crucial pour la sécurité alimentaire des populations rurales, certaines espèces cultivées de tubercules ou fèves locales ont été peu considérées dans la recherche agricole globale (Gendall et al., 2019; Padulosi et al., 2012). Bien que souvent moins étudiées, leur rôle fondamental pourles revenus des agriculteur·ice·s, l'adaptation au changement climatique, la nutrition et la sécurité alimentaire est aujourd'hui largement reconnu et de plus en plus apprécié.

Comme nous l'avons vu, ce sont des systèmes avec une grande variété d'espèces cultivées, dont une des plus importantes est le Lupin des Andes (*Lupinus mutabilis Sweet,* également connu sous le nom de tauri, tarwi, tarhui, chocho ou kirku en Quechua, Kichwa et Aymara), qui constitue le modèle d'étude pour cette thèse. Cette plante, appartenant à la famille des légumineuses (fabacées), est souvent cultivée en rotation ou ensemble en inter rangs ou dans des lignes rapprochées avec les maïs, les haricots et les courges (figure 16 a et b) en raison de leurs propriétés agricoles complémentaires et de leurs cycles de croissance (enrichissent du sol en azote, bénéfique pour la croissance du maïs). Dans les hautes Andes équatoriennes, les plus de 300 génotypes genre Lupinus font preuve d'une grande capacité d'adaptation aux conditions

climatiques et pédologiques, pouvant être cultivé entre 1500 et 3800 m d'altitude (Lucas et al 2015, Gulisano et al 2019).

Cette plante peut être aussi en monoculture, avec des modes de production conventionnels (figure 16c). La domestication de cette culture a commencé dans la région de Cajamarca, au Pérou, et elle est cultivée depuis plus de 2 500 ans, depuis l'époque pré-inca. En Bolivie et en Équateur et au Pérou, c'est le lupin des variétés Guaranguito et Andino qui prédomine, avec un rendement moyen de 648 kg/ha,400 kg/ha et 335 kg/ha respectivement (Gross et al 1988, Mercado et al 2018, Guisiano et al 2019, Chalampuente-Flores2023).



Figure 16 *- Parcelles de lupin de la zone d'étude, en gestion organique (sans pesticides) et en intercropping avec du maïs et des haricots (a et b), en gestion conventionnelle (avec pesticides) (c), et avec supplementation de pollinisation (d). Photos T. Cardenas 2022*

Le lupin a une valeur nutritionnelle significative, ce qui en fait une alternative remarquable pour répondre aux besoins en protéines alimentaires, avec des graines riches en protéines (entre 32,0 % et 52,6 %) et un contenu élevé en termes de calcium, de fer et de zinc, entre autres (Lucas 2015, Tapia 2015, Guisiano et al 2019). Sur le plan agronomique, le lupin Andin présente un cycle végétal variable mais relativement court de 6-7 mois, comparé à d'autres variétés (9 à 12 mois) et

nécessite un bon approvisionnement en eau durant la phase de croissance (6 premières semaines) (Peralta et al., 2006). Le lupin est souvent cultivé dans des sols légèrement acides à neutres, généralement bien drainés et à faible matière organique (i.e. sableux) et peut se trouver dans des températures comprises entre 6°C et 20°C (donc assez en altitude) en se montrant résistant aux basses températures constantes, mais pas au gel. Il fleurit généralement après environ 50 à 60 jours de semis et produit des fleurs blanches teintées de violet et légèrement jaune. Différents degrés de fécondation croisée par les insectes ont été signalés, fluctuant de 4-11% à 9,5-18,9% (Blanco-Galdos 1982, Williams 1987, Gnatowska et al 2000).

La période de floraison est importante car c'est un type d'inflorescence qui présente un ordre de floraison ascendant et les fleurs sont produites en verticilles denses ou ouverts sur un épi dressé, les fleurs du bas s'épanouissant en premier, commençant par la tige centrale, qui se termine par un racème unique d'environ 35-40 cm de long à maturité. Chaque racème porte entre 50 et 80 et environ 120-130 fleurs zygomorphes à symétrie bilatérale avec une forme typique de fleur de fabacée de 1 à 2 cm de long. Plus tard dans la saison, des inflorescences latérales se développent disposées en verticilles de souvent 7-8 fleurs simples, mais les verticilles deviennent plus indistincts lorsque l'axe de l'inflorescence s'allonge pendant la floraison. La fructification commence aussi progressivement à partir de 3 semaines après la floraison, et les gousses atteignent leur maturité environ 175 jours après le semis, selon les conditions de croissance. En règle générale, après la récolte, les résidus de culture sont utilisés comme engrais vert, tandis que les tiges séchées servent de combustible en raison de leur forte teneur en cellulose, ce qui leur confère une valeur calorifique significative, les rendant ainsi propices à être utilisées comme combustible, que ce soit pour le feu domestique ou pour d'autres activités agricoles sur les champs (Basantes 2005, Obs. pers.).

1.3.3. L'entomofaune des paysages agricoles dans les Andes tropicales

Dans la Sierra Equatorienne, l'entomofaune agricole est majoritairement composée des ordres Diptères, Lépidoptères, et Hyménoptères (figure 17) (Valencia et al., 2023). En outre, les paysages agricoles des Andes equatoriennes, bien qu'orientés vers la production alimentaire, sont aussi de véritables écosystèmes abritant une riche diversité d'insectes[4]. Dans les régions des montagnes tropicales, cette diversité est particulièrement marquée en raison de la grande variété d'habitats et des dynamiques écologiques complexes car les insectes interagissent avec une grande diversité de plantes qui crée des habitats variés tant à l'échelle temporelle qu'à une 'échelle spatiale réduite.

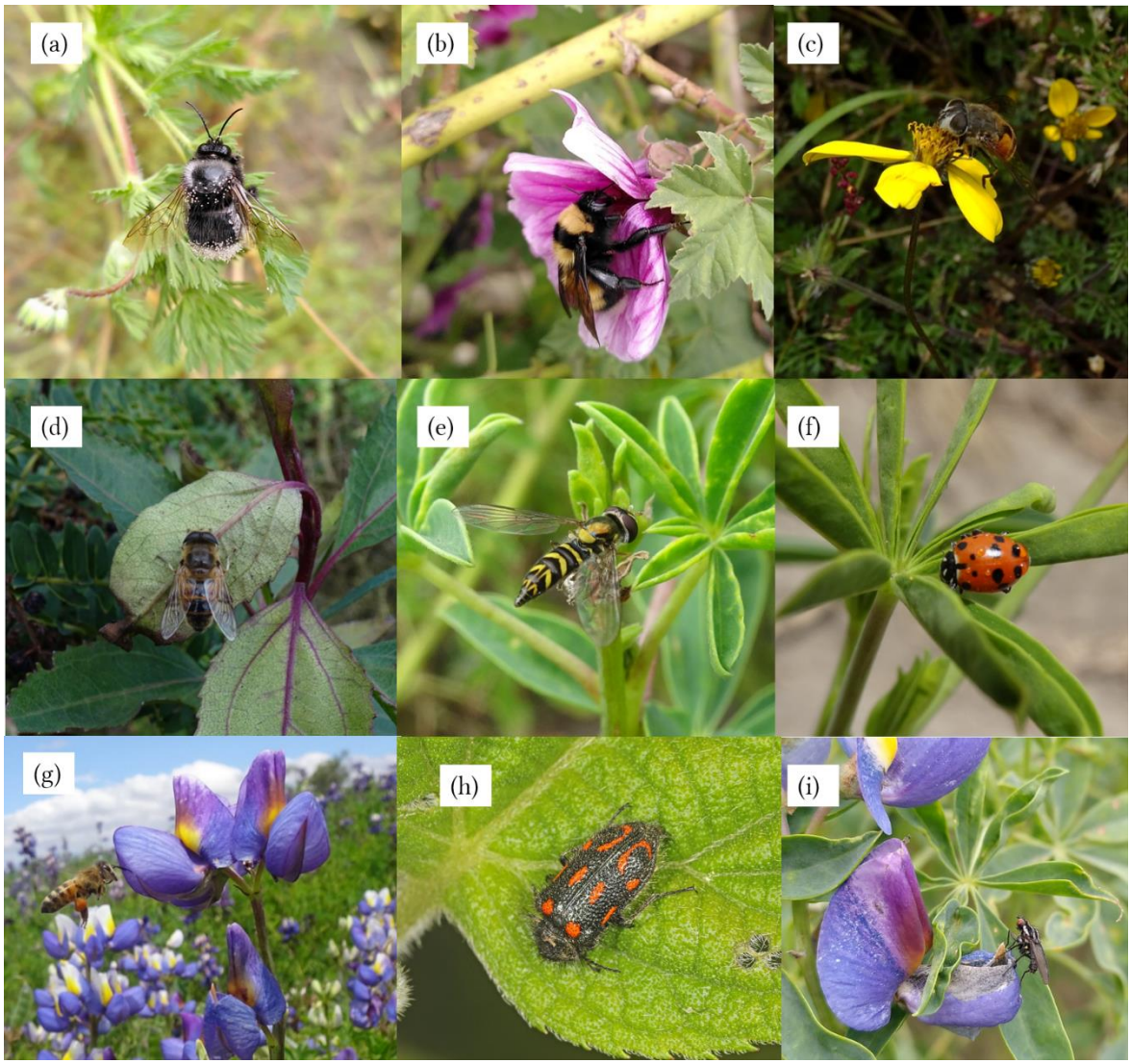


Figure 17 *- Exemples illustratifs de la diversité de l'entomofaune observée dans la zone d'étude de la Sierra Equatorienne. (a) Bombus funebris, (b) Bombus robustus, (c) Eristalis tenax, (d) Eristalis bogotensis, (e) Syrphe ind. (Syrphidae), (f) Hippodamia convergens, (g)Aps mellifera, (h) Astylus bourgeoisi, (i) Anthomyiidae*

[4] Voir le projet d'inventaire participatif Agriandes, sur https://www.inaturalist.org/projects/agri-andes-ecuador

CHAPITRE 2

SERVICES ET DISSERVICES ÉCOSYSTEMIQUES DES ARTHROPODES DANS LES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES DES PAYS À REVENU FAIBLE ET MOYEN

Avant d'aborder l'étude de terrain, nous nous sommes intéressés au contexte de la recherche concernant les fonctions et rôles associés aux insectes dans les systèmes agricoles, et particulièrement dans l'agriculture de petite échelle, dans les pays à faible revenu.

Les insectes jouent un rôle essentiel dans la préservation de la biodiversité, la production alimentaire et le maintien des moyens de subsistance des communautés rurales vivant dans les paysages agricoles. Cependant, le déclin des populations d'insectes, particulièrement dans les zones agricoles, est devenu un enjeu crucial pour la durabilité de la production alimentaire. Ce déclin est accentué par l'augmentation de la demande alimentaire et par les pratiques agricoles intensives qui mettent en péril les populations d'arthropodes dans ces environnements. Or, la recherche scientifique globale sur les relations entre les fonctions écosystémiques et la durabilité des pratiques agricoles se concentre principalement sur des études réalisées dans les pays à haut revenu (*high income countries*, HIC) et les régions tempérées. Afin de mieux contextualiser l'importance des arthropodes, et en particulier des insectes dans les systèmes agricoles, nous avons effectué une analyse bibliographique des tendances de la recherche sur les services écosystémiques (ES) et les disservices écosystémiques (EDS) liés aux insectes dans les contextes agricoles des pays à faible revenu (*low and middle income countries*, LMIC).

Cette revue de la littérature récente a été orientée par une approche systémique, concentrée sur trois aspects de la gestion durable des arthropodes : l'échelle des parcelles ou du paysage, la prise en compte combinée des ES et EDS (i.e. bénéfices et préjudices), et l'implication des agriculteur·ice·s dans les processus de recherche. En utilisant diverses sources bibliographiques, nous avons identifié plus de 450 000 articles sur les arthropodes, dont 8,96 % étaient liés à l'agriculture et seulement 3,29 % aux ES et EDS. Seuls 0,34 % concernaient les petites exploitations agricoles.

Les arthropodes sont souvent étudiés dans des systèmes de cultures mixtes, soulignant ainsi l'importance de l'hétérogénéité du paysage pour l'agriculture. Cependant, seulement 4,9 % des articles ont évalué la gestion conjointe des pollinisateurs et des ravageurs. La plupart des études se concentraient sur les dégâts aux plantes cultivées, les insectes ravageurs les causant, ainsi que sur la pollinisation. Bien que certaines pratiques traditionnelles de gestion des habitats soient mentionnées, l'accent était principalement mis sur les ravageurs, impliquant souvent l'utilisation de pesticides chimiques, reflétant une vision négative de leur rôle dans les agroécosystèmes. Dans la plupart de publications, cette lutte contre les ravageurs et le maintien des insectes bénéfiques n'étaient pas considérées conjointement, révelant des tendances des actions souvent motivées par la réduction des nuisances et les impacts négatifs de ces actions sur les services écosystémiques plus que sur l'intention de favoriser les bénéfices.

Un autre résultat important est la rareté des études sur la manière dont les pratiques et décisions des agriculteur·ice·s sont liées à leurs connaissances et à leur rapport aux insectes et arthropodes. Cette revue de la littérature nous a permis de mettre en évidence le besoin d'intégrer les systèmes de connaissances locales et scientifiques dans des démarches de collaboration basées sur des problèmes concrets (*problem-based*) qui permettent d'élargir la recherche en co-construisant des connaissances communes et en suivant les changements dans les systèmes de savoir autant que ceux de la biodiversité. En effet, les agriculteur·ice·s possèdent des savoirs empiriques importants des paysages agricoles, résultant de leurs interactions à long terme avec la biodiversité et leurs décisions de gestion peuvent dépendre fortement de leurs perceptions, de leurs classifications des insectes et des valeurs qui y sont associées.

Ce chapitre a été un premier pas important dans la construction d'une démarche transdisciplinaire visant à construire et développer des réseaux permettant aux scientifiques de s'engager auprès des agriculteur·ice·s, de mieux appréhender les problèmes les concernant et faire face aux complexités de la recherche dans les contextes de production en SHF.

Mots-clés

Insectes ; Services et Disservices Ecosystémiques ; Systèmes Agricoles De Petite Echelle ; Petites Exploitations Agricoles ; Science de la Durabilité

Paper published in Current Research in Environmental Sustainability 4 (2022) 100133
https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100133

ARTHROPOD-RELATED ECOSYSTEM SERVICES AND DISSERVICES IN SMALLHOLDER FARMING IN LOW AND MIDDLE INCOME COUNTRIES

Cardenas Tatiana[1], Struelens Quentin[1], Coro Mayra[2], Mina Diego[2], Dangles Olivier[1]

[1]Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, CEFE, Univ Montpellier, CNRS, EPHE, IRD, Montpellier, France
[2]Laboratorio de Entomología, Museo QCAZ, Escuela de Ciencias Biológicas, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador

Abstract

Smallholder farming (SHF) currently faces major challenges of sustainability to ensure food security while improving environmental conditions. Sound management of crop arthropods is central to SHF sustainability as these provide both services (e.g. pollination) and disservices (e.g. crop damages) with significant impacts on crop production. Understanding the synergies and trade-offs between arthropod services and disservices is key to achieve crop sustainability yet information about this important issue has never been compiled and analyzed for SHF. Here we review the recent literature with a specific focus on three key aspects of sustainable arthropod-management practices, namely 1) the systemic approach of the studies (crop vs. landscape scale), 2) the joint consideration of services and disservices provided by arthropods, and 3) farmers' involvement in the research. We found that most studies were performed at crop level (70.2%) without consideration of surrounding habitats. Moreover, services and disservices provided by arthropods were generally studied separately from each other (51.6% of articles) and were mainly focused on crop pests (34.6 %). Farmers' knowledge was seldom considered and mainly concerned pests and pollinator-related services (20.5%). A majority of publications (73.8%) did not effectively involved farmers into the research process. Our review stresses the need to develop a more holistic view of arthropod management in SHF, including both the reduction of disservices and the enhancement of services. Furthermore, it would be necessary to promote transdisciplinary approaches to better articulate knowledge on arthropod ecological functions with farmers' needs.

Keywords

Insects; Ecosystem disservices; Ecosystem services; SHF; Sustainable Science

2.1. Introduction

Worldwide, agriculture is facing a double challenge of increasing productivity and developing more sustainable ways of food production (FAO, 2003, 2014). Small-scale farming practiced on relatively small plots of land is the most dominant form of agriculture, constituting more than 70% of the global food production entities (FAO, 2017; Samberg et al., 2016). Family farmers with small landholdings represent about 80% of the world's farms and account for 85% of global population involved in agriculture (FAO, 2014; Lowder et al., 2016), mostly in low and middle-income countries (L&MIC), with strong strain on natural resources and pressing concern for food security (FAO, 2016); and addressing multiple goals and targets contributing to achieve the Sustainable Development Goals (SDGs (FAO, 2018)). Although widely used, a unique and unambiguous definition of smallholder farming (SHF) still remains to be established (FAO, 2017). It currently relies on several criteria, mostly related to land endowment (usually 2 to 5 hectare threshold), labor productivity (i.e. familial) and income (FAO, 2017; Lowder et al., 2016). The definition of smallholding is however context-dependent and can vary according to socio-economic, technological and agroecological realities (FAO, 2010, 2017). SHF systems are highly diverse in terms of climatic, ecological and socioeconomic conditions as well as in their structure and functioning (M. A. Altieri, 2004b; Scialabba et al., 2014; Steward et al., 2014a). Still, these agroecosystems share certain properties like high levels of biodiversity and complex landscape composition (M. A. Altieri et al., 2012), key role of family-managed farms in supporting local livelihoods (FAO, 2014, 2017; Samberg et al., 2016), management methods tightly related to rich local knowledge system or shared cultural values in common social organization and strong adaptability to changes, sometimes in high risk environments (M. A. Altieri et al., 2012; Salcedo & De La, 2014). These agrosystems are also a leading representation of human-nature interactions and feedbacks, encompassing material and non-material benefits for humans as well as threats or unfavorable outputs (M. A. Altieri et al., 2012; Brush, 2008; Díaz et al., 2018).

As for other ecosystems, long-standing interactions within SHF and their ecological functions provide direct and indirect fundamental benefits to humans, through supporting, cultural, provisioning and regulating ecosystem services (ES) (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005). Because of the strong interconnected natural and agricultural features in SHF, unsustainable practices may undermine ES on which smallholders depend to meet urgent needs in contexts of great vulnerability and weak institutional support. Food production on SHF is strongly linked to biodiversity-derived services as increasing the levels of artificial inputs is not economically viable for resource-constrained households. Therefore, options to maintain or improve production are rather linked with improvement of the amount and integrity of ecosystem regulation and supporting services (International Fund for Agricultural Development (IFAD),

2013). Food production, especially in SHF, depends on a wide range of ecosystem functions including nutrient and water cycling, pollination, competitive interactions, and matter decomposition. These functions are fulfilled by several agrobiodiversity components, particularly arthropods. To date, research on arthropod-related ES has mainly focused on well-known functions and performed by charismatic or iconic groups such as butterflies, hymenoptera or beetles (Noriega et al., 2018), even though a large part of global crop production depends on pollination from bees and wild pollinators (Klein et al., 2007b; Rader et al., 2016b). Pollination also contributes to economic welfare and to rich and meaningful cultural and spiritual life for a large population (IPBES, 2016). Along with pollination, biological control is one of the most studied services as it implies high economic impacts for agriculture because parasitoids and predatory arthropods contribute to controlling pest insects in crops (G. M. Gurr et al., 2003; Rusch et al., 2017).

In contrast to ES, ecosystem disservices (EDS) are defined as ecological elements, functions and processes affecting negatively human well-being, directly (e.g. pollen allergens), by intermediate of negative impacts on ES (e.g. diseases from pathogens reducing pollination) or by reinforcing other EDS (e.g. wildfire occurrence mediated by invasive species)(Blanco et al., 2021). EDS scope on ecological phenomenon linked to negative outcomes affecting human well-being, which must be differenciated from the associated detriments or costs resulting from human actions on ecosystems (Shackleton et al., 2016). In agricultural systems, EDS affect functions and productivity, leading to important crop losses (Zhang et al., 2007). These disservices such as herbivory or competition for resources (e.g. water consumed by non-crop plants (Zhang et al., 2007)) have also been extensively studied, establishing a dominant viewpoint where insects are predominantly perceived as crops pest and harmful to anthropogenic environments (Dangles & Casas, 2019b; Wyckhuys et al., 2019a). Nevertheless, as stakeholders' actions may be largely driven by greater perception and willingness to reduce EDS (Blanco et al., 2019; Shapiro & Báldi, 2014), arthropod management for either mitigating EDS or enhancing ES can also be a powerful driver for transition towards sustainable agriculture in smallholder systems. In particular, promising results on agroecosystem management towards more sustainable agriculture have been reported when including ES-EDS synergies and trade-offs (Gaba et al., 2014; Gagic et al., 2019; Lundin et al., 2013).

To date published evidence on the relationships between arthropod-related ES and the sustainability of agricultural practices has been largely based in research from high-income countries (HICs) and temperate regions (Palomo-Campesino et al., 2018; Steward et al., 2014a; Q. Struelens & Silvie, 2020). Moreover, a combined analysis of services and disservices of arthropods in SHF systems has still to be performed for balancing positive and negative impacts of nature on

human well-being (see (Blanco et al., 2021)) and for reframing entomological research to achieve the SDGs (Dangles & Casas, 2019b). To address this issue, we performed a literature review capturing research trends in insect-related ES and EDS in SHF, detecting knowledge gaps and exploring to what extent these studies are conducted within a transdisciplinary framework (Stern, 2018). In particular, we were interested in research practices in SHF considering ES and EDS in a multidimensional view of agroecosystems (crops and natural habitats) and bringing together diverse knowledge systems, especially between academic and farmer communities.

2.2. Material and methods

Data base compilation

We conducted a systematic multilingual (English, Spanish and French) review of the scientific literature in peer-reviewed journal articles published between January 2015 and January 2021. We followed the systematic literature review (SLR) approach and the six steps protocol commonly used for scientific review (Higgins et al., 2019; Mengist et al., 2020). Detailed steps of the process are described in Appendix A. We first determined the research scope with the PICOC framework (Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Context, see Table A.1, Appendix A). We identified concept groups for keywords from the terminology identified in PICOC and then ran a 'naïve search' for identifying search terms through an automated approach (E. M. Grames et al., 2019) using the litsearchr R package version 1.0.0 (E. Grames et al., 2020) (Fig.A.1, Appendix A).

Then identified terms in the three languages were searched in different databases covering a broad range of academic contexts: Web of Science (general literature), Scopus (social sciences- oriented), BASE (multi-disciplinary), and Scielo (multi-disciplinary). The search string was a compilation of keywords of four main domains: *Arthropods, Agriculture, Ecosystem services and disservices, and Smallholder farming* (see the complete list of terms search in Table A.2, Appendix A). Keywords were searched in aggregated quests, progressively filtering articles, thereby giving us an idea of the shared publications of each sub-theme in the overall literature on arthropods. Overall, we retrieved 454,703 records on arthropods, of which 40,720 were related to agriculture (8.96 %). Among them 14,967 articles (3.29 % of total records) were related to ES or EDS, of which 1,564 (0.34 %) concerned SHF. As diversified international databases and collection of published scientific research help cover citations more widely (Nuñez & Amano, 2021), especially for countries in L&MIC, we included bibliographic resources from other scientific search engines, scientific libraries and scholarly journals platforms as Dialnet, PKP Index (Public Knowledge Project) and AJOL (African Journals OnLine), using the four main keywords

groups repeatedly in the search process. Finally, we conducted a complementary approach of citation tracking by backward snowballing (Wohlin, 2014) using articles' reference lists. We retrieved 57 additional references, leading to a total of 1,621 articles.

All references were compiled into a unique bibliographic database organized and arrayed to eliminate duplicates and misreferenced entries using the revtools v. 0.4.1 (Westgate, 2019) and synthesisr v. 0.3.0 R packages (Westgate & Grames, 2020). Article titles and abstracts in the resulting database (n = 991) were subsequently screened to complete the inclusion-exclusion procedure according to predefined criteria (see Table A.3, Appendix A). We excluded publications whose focus was not relevant to SHF systems (110 articles) or for which insect sampling was not done under real-world conditions (e.g. experimental fields or laboratory experiments, 105 articles). This also implied excluding studies about intensive and high-input farming systems and those located in HICs (81 articles). Moreover, we excluded papers in which insects were not associated with any disservices or EDS (e.g. only inventory of diversity without indicating a function or role in the agroecosystem, 186 articles).

After this selection process, our database included 172 publications. These were selected for full screening and qualitative assessment, after which 122 publications were kept (see Figure 1, Appendix A and Appendix C for a complete list of references). The remaining 42 articles were excluded in the last full-text reading step when arthropods were not explicitly mentioned or ES and EDS were not clearly addressed. For the final data extraction step, we registered in separate subset datasets all information related to ecosystem services (see definitions in Table A.4.1, Appendix A), entomofauna and farmer knowledge and perceptions (see the Data processing section). Besides bibliographic default metadata, we registered data about country, income level (corresponding to the income groups from World Bank's Data excluding High-income economies) and study system (e.g. crop type) as well as scientific methodology variables (e.g. participation of farmers; see Table A.5, Appendix A).

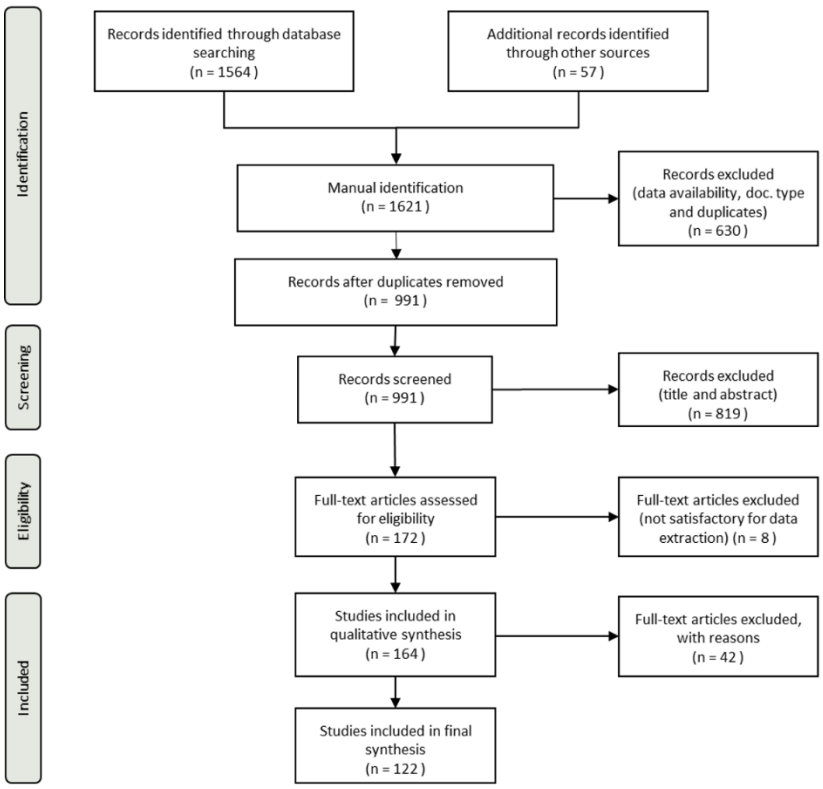


Figure 1- *Prisma diagram summarizing the methodological procedure of the SLR protocol from papers selection to the database formalization, towards eligibility criteria filtering and the application of methodological plan to summarize the review information*

Data processing

We defined four main thematic to analyze the articles listed in the final database and extracted information on arthropods, their services and disservices, farmers' knowledge and actions related to arthropod management; the transdisciplinarity approach of the research (see Table 1 and Table A.5). First, we examined the taxonomy of arthropod communities and at which spatial scale they were studied (i.e. crop-centered vs. crop in the surrounding landscape). This issue is important when assessing arthropod-related ES and EDS as understanding arthropod dynamics typically requires studies at the landscape scale (e.g. see (Crespo-Pérez et al., 2011)). For this, we reported which habitats were included in the study (i.e. agroforest, storage structures, non-crop habitat, crop field).

Second, we used the four Millennium Ecosystem Assessment's (Millennium Ecosystem Assessment (Program), 2005) broad categories of ES (provisioning, regulating, supporting, and cultural, see Table A.4.1, Appendix A) and registered all arthropod-related functions reported by each article. We followed Blanco et al. (2021)'s definition of final and intermediate EDS. We also registered whether ES or EDS were considered alone or by multiple functions. The interaction among ES and EDS were visualized through a network analysis using the R bipartite package

(Dormann et al., 2008). In addition, we extracted diversity data of arthropod taxa related to ES or EDS (taxonomic level, name and functional guild).

Third, we gathered information on the type of farmers' knowledge (e.g. arthropods identification, functions, perceptions, associated knowledge) and associated management practices regarding arthropods in their farming systems. We also recorded all actions mentioned in the studies for subsequent classification of values based on arthropod management strategies (G. M. Gurr et al., 2004; Zehnder et al., 2007) (see Table A.4.2) and whether chemical pesticides were used.

Fourth, we analyzed to what extent the research works had been developed through a transdisciplinary approach. Transdisciplinarity addresses relations between science and society, making transformations from science building process and involving stakeholders since the first stages of research process to better target problems (Jahn et al., 2012). To assess whether research processes encompassed knowledge co-construction and sharing, we set a farmers' participation index (FPI) adapted from the typology proposed by Pretty (J. N. Pretty, 1995) and Brandt et al. (Brandt et al., 2013). The five levels of the FPI reflect the degree of involvement of farmers in research process, from an absence of farmers or no implicit participation (FPI = 0) to a shared and coordinated implication of farmers in research (FPI = 5; see Table A.4.3, Appendix 1 for details). In addition, we identified the person involved in arthropod identification (researchers or farmers). All statistical analyses and graphs were performed using R 4.0.4 (R Core Team, 2021).

Table 1 *– Criteria and variables extracted from the selected articles*

Criteria and variables	
Article general information	Article bibliographic information (year of publication, Title, Journal, DOI, keywords, authors name discipline and affiliation) and geographic information (location, income level, scale)
Study of arthropods in crop systems	Habitat, crop system (crop type, scale) and taxonomic information on arthropods studied (functional guild, taxonomic level and id.)
Ecosystem services & disservices	ES and EDS categories and functions associated with ES and EDS
Farmers knowledge and practices	Farmers' knowledge and perceptions (if studied), arthropod management strategies
Transdisciplinarity	farmers' participation index and North/South collaborations

2.3. Results

The 122 selected studies were conducted predominantly in Sub-Saharan Africa (50.4% of studies), Latin America & Caribbean (28.5%) and East Asia & Pacific (15.3 %). Overall, 44% of the studies were conducted at a regional scale, 39.0% focused on local scale and 15.0% covered national or transnational scales. In total, 79.5% of the publications were English-language performed, followed by Spanish or bilingual version English/Spanish (13.9%) and French (6.5%).

Research disciplines concerned mainly "Agriculture and Agronomy" (38.5% of publications), Ecology-Biology (20.5%) and Entomology (17.2%), with a low occurrence of studies belonging to social sciences, economics or multidisciplinary approaches (4.1% each) (Figure B.1, Appendix B).

The majority of publications focused either on crop fields (64.8%), agroforests (14.8%) or crop storages (10.7%), encompassing 68 different crops (mostly maize, coffee, beans, cassava, cacao, rice, potatoes and combined vegetable or fruits). In most cases (37.6%), those systems were polycultural (including intercropping and associated crops) with monoculture and mixed (monoculture-polyculture) systems representing 22.2% and 17.1% of the studies, respectively. Most works (70.2%) studied insect-plant relationship only at the plot-level (either the crop, the agroforest or the storage alone) and only 29.8% included the surrounding habitats (Figure 2).

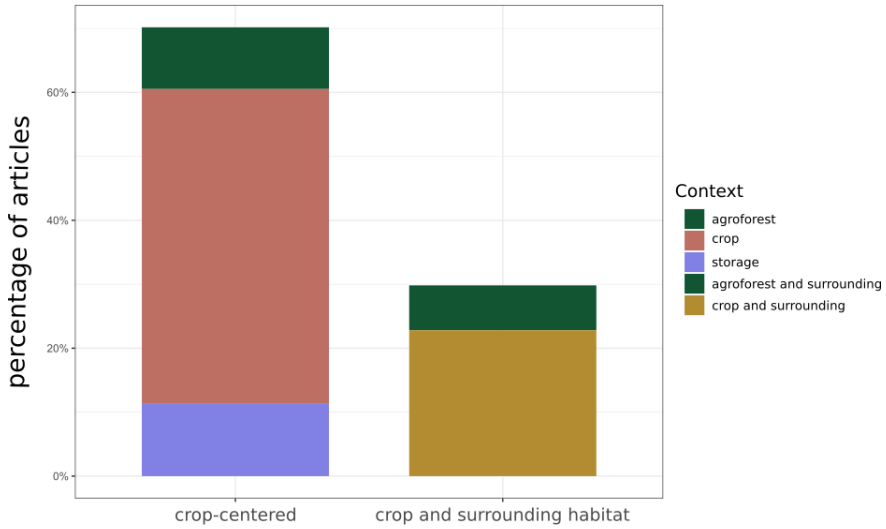


Figure 2*- Percentage of reviewed articles according to the agroecosystem context in which arthropod-related ES and EDS were studied. Two levels were identified: (1) crop-centered (either the crop, the agroforest or the storage alone), and (2) crop and surrounding habitats.*

Articles studied either one (51.6%) or various (48.4%) arthropod-related ES and EDS. Because several services could be analyzed in a single study, the total number of studied ES and EDS was higher (228) than the total number of studies (122). Most studies focused on regulating ES (44.7% of studies) and EDS (37.14%). Only 6.86 % of services referred to cultural services, and even fewer to provisioning and supporting services (7.43 and 4%, respectively). Overall, 16 main categories of ES and EDS were covered (Figure 3). Arthropod functions and processes in SHF agrosystems were mostly related to pests, either their damage or their control (34.65% and 23.68%, respectively). For instance, articles reported arthropod-related damages concerning herbivory on plants (Novais et al., 2016) and consumption of stored grains (Midega et al., 2016), while potential of pest control by natural enemies was studied through parasitism and predation processes (e.g. larval parasitoids (Diatte et al., 2018)). Besides, pollination and hive-related

products (honey, wax) represented 15.35% and 6.14% of the investigated functions, respectively (Table B.1, Appendix 2). These were studied to illustrate changes in knowledge and practices (e.g. honey consumption (Contreras Cortés et al., 2020)) and potential benefits from pollinators (e.g. contribution for crop pollination and household income (Rodríguez et al., 2020)). The remaining ES include education, medicinal, cultural or heritage services, and a lower proportion of services related to soil processes (matter recycling, soil fertility), bioindicator species, handcraft manufacturing or direct selling. These ES were considered through educational purposes (e.g. promoting interest and awareness (Marques et al., 2017)) and to examine the links between farmers' knowledge and decision-making (Beltrán-Tolosa et al., 2020b). Jointly studied functions were mainly "crop pest and pest control" (33.6% of articles) and, to a lesser extent, "pollinator-related services and educational and cultural services" (20.5%). A low proportion of the reviewed literature (6.6%) assessed more than three functions together, often associated to cultural services or crossroads between cultural and regulating services (Figure 3).

Three main categories accounted for the most studies on crop damage, pest control and pollination (Figures B.4, B.5 and Tables B.2). The most studied taxa belonged to the hymenoptera (Figure 4), either as natural enemies (e.g. parasitoid wasps), pollinators (e.g. domestic or wild bees) or pests (e.g. ants). Furthermore, many arthropod taxa were studied in intercropping systems (i.e. multiple crop fields, mixed or rotation cropping and agroforestry), stressing the key part of landscape heterogeneity in smallholder farming.

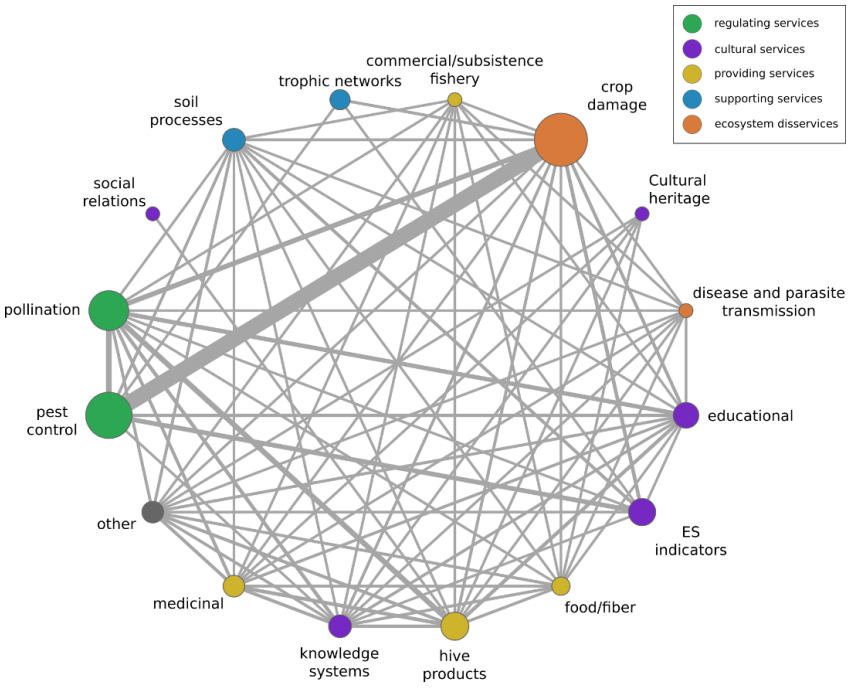


Figure 3 *– Main categories of arthropod-related ecosystem services and disservices reported in the reviewed literature concerning smallholder farming systems. The size of the circles represents the number of studies on each ES or EDS and the lines represent the frequency ES or EDS studied jointly in the same article*

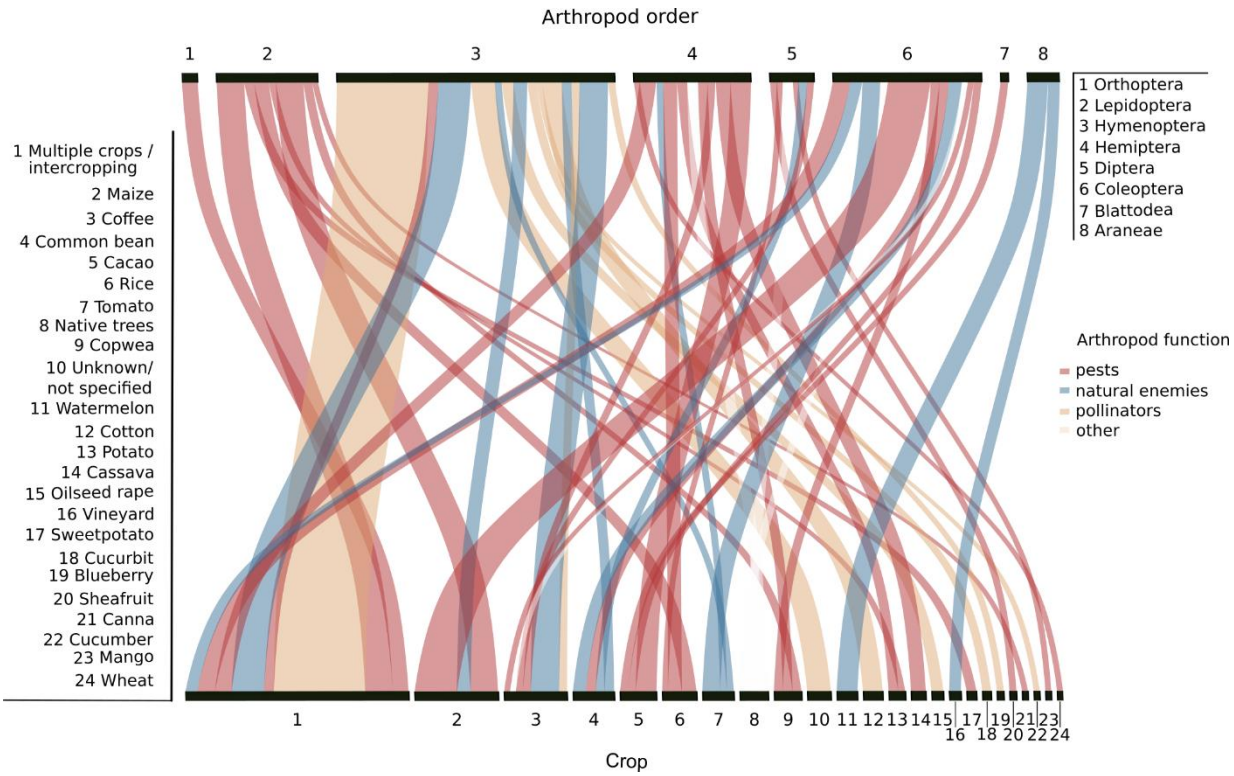


Figure 4 *- Main arthropod orders in connection with their functions as pollinators pollinators (orange), natural enemies (blue) and pests (red) within the crop systems studied. Line width represents number of taxa reported by article for each function.*

Only 4.9% of all articles assessed the management of both pollinators and natural enemies and/or pests (see Figure B.2.1, Appendix B). Except for integrated pest management (mentioned in 10.6% of articles), options that represented combined forms of different arthropod management were rarely evaluated in the same study. Regarding management practices, farmers' strategies to improve an ES or counter an EDS mostly concerned chemical, organic and cultural practices for pest and habitat management (Figure 5). Most of them were related to pest control and implied pesticide applications (chemical or botanical). Nevertheless, several management strategies sought to improve environmental quality of agroecosystems. Arthropod management included traditional practices mostly by habitat management (crop and non-crop). Other common strategies were related to storage facilities (e.g. hermetic bags) and pest control (e.g. use of ash dust).

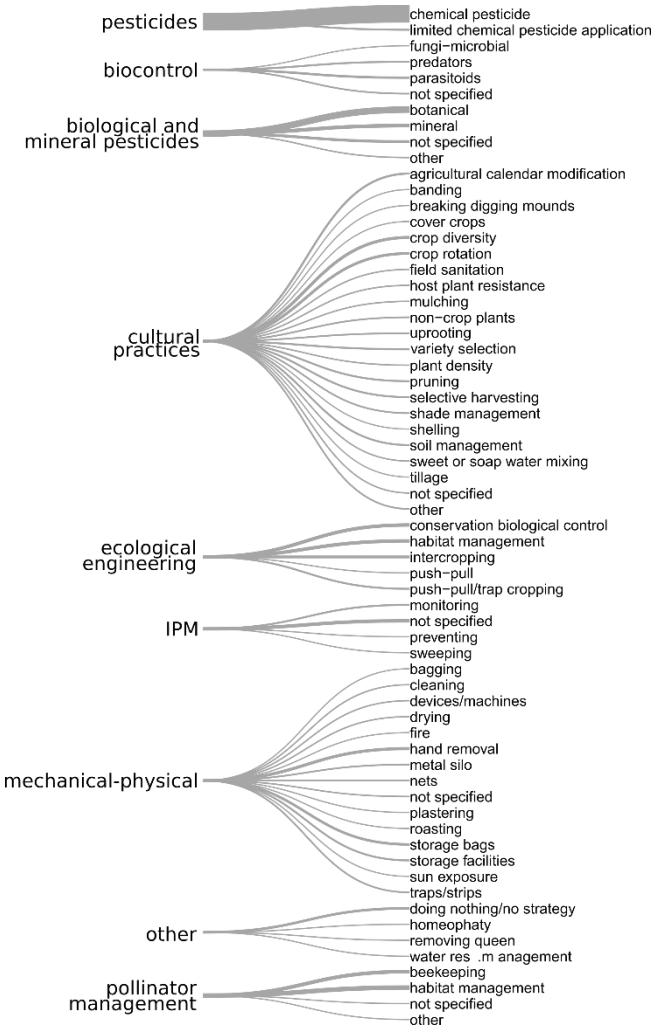


Figure 5 *– Main arthropod management strategies reported in the literature concerning SHF. Line width represents the frequency of an action being reported*

Overall, 40.2% of articles addressed farmers' perceptions, actions and/or knowledge related to arthropods in SHF. Research covering farmers' knowledge or perceptions was mainly carried on cultural services (i.e. education, cultural heritage), especially for pollinator-related services (e.g. medicinal uses and production of honey and beeswax) (**Figure 6**). In contrast, farmers' knowledge or perception was not prevalent in common agricultural services like pollination or pest-related functions (damage and control). Very few studies addressed farmers' point of view on processes related to soil and to species as bioindicators.

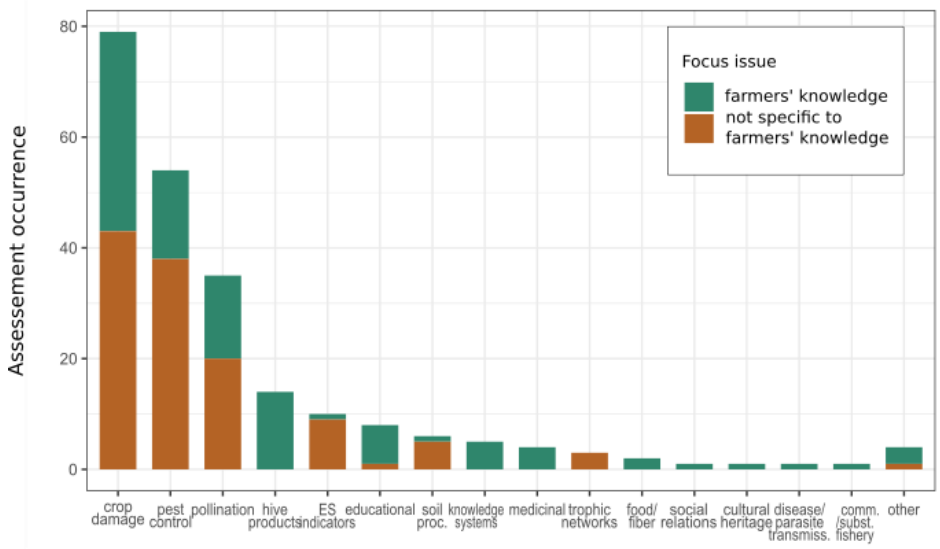


Figure 6 *– Ecosystem services and disservices ranked from studies on farmers' knowledge and/or perception and/or actions. The ten categories of ES and EDS studied in SHF systems are of height according to number of articles assessing them. The proportion of articles having relevance with farmers' knowledge/perception/actions is green colored, while orange color refers to articles addressing ES or EDS but not dealing with farmers' knowledge.*

Overall, farmers' opinion and knowledge was poorly considered (Figure 7) as 73.8% of all articles had a participation index (FPI) scoring 0 or 1. In particular, farmers were poorly involved in the identification or survey processes: 78.2 % of the 1,264 taxa registered in the 122 articles were studied without local stakeholders (farmers, extensionists or students; Figure B.3, Appendix B). Farmers' involvement was mainly passive through surveys or on-field sampling, and mostly aimed at collecting agronomic data, without consideration of their viewpoint in research questions or methods definitions. Furthermore, 17.2% of articles did not report any or not explicitly mention farmer's involvement within the research process (FPI = 0).

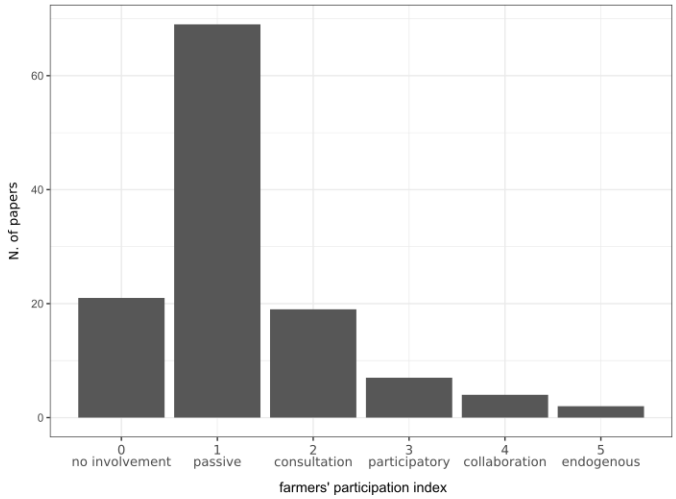


Figure 7 *– Farmers' Participation Index (FPI) classifying involvement of farmers in research process through five levels: (0) no involvement or not mentioned; (1) passive participation limited to data collection; (2) consultation with material incentives but without sharing processes; (3) participatory/functional research with common objectives; (4) collaboration by farmers interactively participation in study design, data collection and outputs discussion; (5) endogenous initiatives from farmers and shared mobilization with scientists looking at long-term results.*

2.4. Discussion

In this review, we evaluated current literature on insects-related services and disservices in smallholder systems. Despite an increasing number of studies focusing on insect-related services in the last decades (Ameixa et al., 2018; Crespo-Pérez et al., 2020; Dangles & Casas, 2019b; Noriega et al., 2018), we found that only 9.0 % of the arthropod literature concerned agricultural systems. Even more challenging, only 0.34 % of the search outputs referred to SHF, albeit 84% of the world's farms are small-holding, operating on about 12% of the world's land (Lowder et al., 2016). These results are in line with recent findings pointing that agricultural ES research is strongly biased towards large-scale intensive farming landscapes and temperate biomes in HICs (Palomo-Campesino et al., 2018; Steward et al., 2014a). This review is subject to limitations inherent to the chosen scope and focus on recent literature (2015-2021). In addition, it is likely that some SHF studies from L&MIC may not be published in indexed peer-reviewed journals but rather in technical reports or local academic canals, keeping several potentially relevant documents out of our scope. Similarly, despite a multilingual search, we might have omitted several references, particularly from the Asian continent, which is a limitation commonly reported in the literature (Amano et al., 2016; Nuñez & Amano, 2021).

2.4.2. Ecosystem Services and Disservices

Agricultural ES and EDS related to arthropods mainly concerned regulating services. Most studied functions concerned pest, which reflects the longstanding negative view of arthropod roles in agroecosystems (Dangles & Casas, 2019b). In most cases, arthropods were studied only as pests (Bigirimana et al., 2019; Caniço et al., 2020b) or pest antagonists (Caniço et al., 2020a; Diatte et al., 2018; Sisay et al., 2018) with no consideration of other ecological roles they could play. However, as smallholders' actions may be driven mainly by EDS reduction (i.e. limiting crop damage by pests), the negative impacts of these actions on ES supply should also be taken into account (Blanco et al., 2021). A few studies assessed floral visitors as potential enhancers of yield (Popak & Markwith, 2019; Zou et al., 2017) but almost none considered both pest control strategies and the maintenance of beneficial insects (but see (Motzke et al., 2015)). Moving in that direction, Integrated Pest Management (IPM) strategies could be adjusted for pollinator protection practices along with other beneficial arthropods for the agroecosystem (Biddinger & Rajotte, 2015b). This relatively new paradigm of integrated pest and pollinator management (IPPM) merges both the welfare of all pollinators into the crop pest protection programs and benefits of alternative pollinators into crop production (Biddinger & Rajotte, 2015b; Lundin et al., 2021). IPPM can fit smallholder farming sustainable objectives as it intends to minimize trade-offs between ES and EDS, and to maximize co-benefits and synergies from insect management

(Lundin et al., 2021). However, any application of these principles calls for extensive transdisciplinary research among scientists, farmers and stakeholders in order to develop collectively on-field trials and monitoring instruments, but also to co-design decision support tools and evaluation of IPPM adoption (Egan et al., 2020).

2.4.3. Habitats and crops: lacking a multilevel perspective

In the reviewed literature, insects were mainly studied separately along the food production process (i.e. either crop, surrounding habitats or post-harvest storage). However, agricultural ES and EDS require a wider consideration of the different crop stages, including management of harvested products (Mendoza et al., 2017; Sankara et al., 2017) as well as crop and non-crop habitats (Medeiros et al., 2019). This is especially important for ES and EDS related to arthropods whose life cycles often encompass both cultivated and natural habitats. The lack of a landscape level consideration may hamper farmers' actions and proper management strategies. Indeed, the majority of reviewed papers presented pest management through chemical pesticide applications in the different crop system components (i.e. crop field, surroundings, crop storage facilities) while more sustainable management of traditional SHF requires a multidimensional view of the system (e.g. to favor pest natural enemies though the maintenance of flower-hedges, semi-natural habitat, figure 2 (Blandi et al., 2016; Kansiime et al., 2021)). Farmers aware of the role of the entomofauna at the landscape level could lower pesticide use, even if their awareness is oriented towards phenomena they observe in their fields or storages (Djuideu et al., 2020). Indeed, various articles raised the importance of increasing the entomological literacy of farmers, for example through training programs on pollinators (e.g. multiple roles of bees), to achieve sustainable management actions in SHF (Elisante et al., 2019). Arthropods also support social practices and cultural values (i.e. cultural heritage) by enabling the identification and analysis of changes in intergenerational transmission of knowledge (e.g. about native stingless bees, see (Contreras Cortés et al., 2020)).

2.4.4. Farmers' knowledge, perception and practices

We found few studies focusing on how farmers' knowledge is linked to arthropod-related ES (e.g. (Sawe et al., 2020)). A similar trend was documented by Rawluk & Saunders (Rawluk & Saunders, 2019b) who pointed at the scarcity of documentation of farmers' knowledge on beneficial insects' biology or ecology in agroecosystems. Farmer's knowledge or perception mainly concerned pest-related functions (i.e. damage or control) because of the strong interdependence of smallholder farming on pest threats and risks. This makes control techniques essential to increase productivity while dealing with harsh environmental conditions (FAO, 2016; Meza, 2014). The few articles directly engaging emic local knowledge systems on arthropod-

related ES dealt primarily with bees' handling (e.g. (Contreras Cortés et al., 2020)). These practices cover a broad range of cultural, medicinal or educational services that contribute to empowering biocultural diversity and endogenous development (IPBES, 2016). These relationships would be worth studying further and together with other services or disservices to assess potential tradeoffs and synergies in the agricultural system.

The objectives of most articles were either to identify and/or study the biology/ecology of arthropod species providing specific ES (e.g. how a bee taxon pollinates a given crop or plant). However, several articles reported farmers being unable to recognize or identify arthropods and/or their functions correctly ((Mkenda et al., 2020; Munyuli et al., 2017; Sawe et al., 2020)), leading to inappropriate arthropod management (Rawluk & Saunders, 2019b; Wyckhuys et al., 2019a). Furthermore, local beliefs in spontaneous generation can substitute concepts of insect reproduction and metamorphosis cycles (Bentley, 1989a). These statements illustrate the mismatch between scientific and local knowledge that can be detrimental to cope with agronomic problems (e.g. new species outbreaks in changing environments). Most farmers have a remarkable experiential knowledge of several elements in their agricultural landscapes resulting from long-term human-agrobiodiversity interactions (Brush, 2008; Hill et al., 2020). However, certain aspects might be difficult or impossible to observe such as the morphological differences between immature stages of two different pest species or the predatory behavior of small parasitic wasps of crop herbivores. This may affect farmers' understanding of pest damage and biocontrol. For example, farmers can easily observe that insect pests may be preyed upon by vertebrates (e.g. birds) but not by other insects or microorganisms (Bentley, 1989a). Likewise, farmers might over-react to certain pests that cause sub-economic damages or may perceive non-pest species as threatening (Bentley, 1989a; Tarakini et al., 2020b). Misidentification remains the main issue reported in the literature, either for species names or for their ecological functions (Elisante et al., 2019). On the other hand, even professional entomologists may have a limited knowledge on the taxonomy and ecology of many arthropods living in tropical SHS. It is therefore mandatory to reinforce transdisciplinary research by fostering the complementarity between local and scientific knowledge for arthropod management in SHF (e.g. (Liebig et al., 2016a)). The recognition of local classifications could be an opportunity to build synergies between knowledge systems (Krause et al., 2010) and generate a common vision of arthropod communities.

In the reviewed literature, scientists made the vast majority of taxonomic identifications, asking farmers subsequently to recognize them and then evaluate/validate their knowledge. Very few studies proceeded to recognize local categories and how arthropods were locally classified or named ((Beltrán-Tolosa et al., 2020b; Contreras Cortés et al., 2020)). This perspective widens the gaps between scientific and farmer knowledge, potentially affecting the effective implementation

of more sustainable agriculture practices (Liebig et al., 2016a; Parsa et al., 2014; Vidogbéna et al., 2016). Among the great diversity of insect species, farmers may name a set of organisms by a single term, even when they are not related species (Gurung, 2003; Munyuli et al., 2017). Ethno-entomological studies have shown that a lack of name designation does not always reflect a missing category, as when a combination of words or concepts encompasses adjacent categories (Bentley, 1989a; Costa-Neto, 2000). Folk entomological classifications include cultural, social and ecological dimensions to differentiate life-forms based on morphologic, biological, behavior, utilitarian and psycho-emotional criteria (Hill et al., 2020; Krause et al., 2010). Thus, involving folk and farmers' knowledge systems that differ from the taxonomic systems may allow broadening the scope of research in the direction of knowledge co-construction through. This may be achieved through the development of collective referential categories between scientific and folk knowledge systems (Krause et al., 2010) or through a monitoring of knowledge changes (Brondízio et al., 2021) (e.g. loss of knowledge and biocultural diversity around beekeeping practices as in (Contreras Cortés et al., 2020)). Including emic knowledge and intrinsic value of entomofauna in SHF may also help to better understand their socio-ecological roles in the agroecosystem, as proposed for pollinators (Contreras Cortés et al., 2020; Marques et al., 2017) and natural enemies (Beltrán-Tolosa et al., 2020b; Mkenda et al., 2020).

2.4.5. Transdisciplinary practices

While several authors recognized the importance of including farmers in agroecosystem ES and EDS studies, our review shows that questions related to local knowledge remained of limited interest for researchers. Poor participation of farmers and local people is a persistent problem in agricultural ES research (Kanter et al., 2016; Rawluk & Saunders, 2019b) and may have long-term implications to link different types of experience around a common problem (e.g. pollination deficit (Christmann et al., 2021)). Applying transdisciplinary research concepts and methods may address this issue by favoring the initial co-design and co-creation of collaboration frameworks and research questions, the bidirectional information fluxes between scientists and farmers and the building of a solution-oriented knowledge (Bartomeus & Dicks, 2019; Landis et al., 2016; Liebig et al., 2016a). In our review, only three studies out of 122 actively engaged farmers (FPI = 5, Fig. 7). These works documented the successful application of participatory approaches. For example by improving pest control networks Landis et al. (2016) (Landis et al., 2016) report on capacity building on IPM practices for wheat, providing a common learning process for farmers, crop advisors, and students. Also Smith et al. (2017) (Smith et al., 2017) proposed a coordinated pollinator management plan integrating both local and scientific knowledge while Christmann et al. (2017) (Christmann et al., 2017) investigated human values regarding friendly actions for pollinator protection by a participatory approach focusing on

farmers decision making. Such initiatives may not only trigger large system change and achieve broader systemic impact on SHF but also catalyze sustainable agriculture transition process as it combines both knowledge (scientific advancement) and social processes among actors.

2.5. Conclusion

Our review revealed that arthropod management research in smallholder systems still mainly focuses on pest control at the field level. It is urgent to develop a more holistic approach of arthropod communities, both detrimental and beneficial to people, in cultivated and surrounding natural habitats. People and arthropods have lived in close interactions for centuries, yet research studies rarely include traditional knowledge to coproduce management options. Building innovative transdisciplinary collaborations are urgent to improve the development of sustainable solutions in arthropod management for smallholders. Traditional arthropod related knowledge and management (e.g. practices for conserving pollinators and/or natural enemies (Blandi et al., 2016; Kansiime et al., 2021)) can get forceful when combined with agroecological innovations and oriented towards applications-driven science and socioeconomic relevance (M. A. Altieri, 2004; Dangles et al., 2010; Liebig et al., 2016a; Tarakini et al., 2020). It is more than ever timely to integrate on the same level both ecological and human dimensions of arthropod-related ES and EDS in smallholder farming.

Acknowledgements

This work is part of the project "Agro-ecological management of crop insects: towards a sustainable collective goal for farmers" conducted within the Crop Collaborative Research Program funded by the McKnight Foundation. TC is supported by a mixed scholarship grant from the McKnight Foundation and the The French National Research Institute for Sustainable Development, IRD through the "*Allocations de recherche pour une thèse au Sud*". We thank M. Gibernau for advices in data analyses.

Declaration of interests

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

2.6. Matériel Supplémentaire Chapitre 2

Appendix A – SLR protocol

Table A.1. Definition of research scope by PICOC framework (Population, Intervention, Control, Outcome, Context)

We followed the framework for systematic and meta-analysis studies through six steps: protocol, search, appraisal, synthesis, analysis and report. Subsequently, we used PICOC framework to define search scope, to generate a search strategy and for identifying concept groups prior to Naïve search following the method for generating search strategies. Application of PICOC approach helps to define the main review elements as the subject or study system and its particular context, intervention as drivers of the phenomena studied, and outcome as measures to assess the current state of understanding and gaps stated in the selected publications.

PICOC	Definition	SLR	Words related	Words for naïve search
Population	The current scientific work on insects and arthropods	Scientific work about insects and arthropods diversity and their role in ecosystem functioning	insects; arthropods; entomofauna	Insect* atrhropod* entomofauna
Intervention	Drivers related to crop systems	Arthropod diversity, ecology and roles in particular agricultural systems, most studied taxa and gaps in knowledge about insects	agriculture; agroforestry; food production	Agr* forest*
Comparison	Settings of research	[not applicable to research question]		
Outcomes	Knowledge measurements & contribution to general knowledge	Gaps and status in knowledge on Ecosystem services & disservices related to insects in smallholder farming systems	ecosystem services; ecosystem disservices; provisioning; regulating; supporting ; cultural; pest damage	Ecosystem service* Ecosystem diss*
Context	Particular settings or areas of the population	Smallholder farming systems in low and middle income economies	Smallholder; small-scale agriculture/farming; peasants; family farm	Smallhold*

Figure A.1. Flowchart litsearchr method for seed articles and terms selection

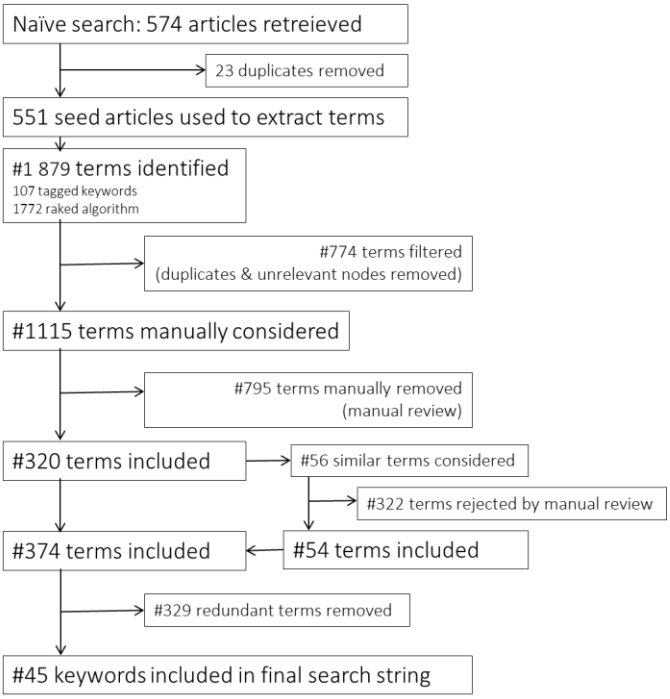


Table A.1b. Naïve search

In order to reduce bias of selected documents, a naïve search was carried, including the main search terms determined at the previous step and grouped into concept categories (i.e. insects, ecosystem services, agriculture, smallholder), combined into a boolean search on two search engines (Scopus and Web of Science). Relevant and pertinent keywords for final search were extracted from core documents (n=574 articles) using text mining and keyword co-occurrence networks with litsearchr R package.

Database	Search string	Indexes - Timespan	Results
Web of Science	TS=(insect* OR arthropod* OR entomo*) AND TS=(serv* OR diservic*) AND TS=(agr* OR forest* OR farm*) AND TS=(smallhold*)	Indexes= default values Timespan=2015-2021	51
SCOPUS	(TITLE-ABS-KEY (*insect** OR *entomo**) AND TITLE-ABS-KEY (*agri** OR *forest**) AND TITLE-ABS-KEY (servi* OR diservic*) AND (*small**)))	PUBYEAR > *2014* AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, *"English"*)	523

Note that making choices on keywords to optimize database composition implies a tradeoff on the quantity of words and the choice of terms to include in the final search. Thus, including search terms like "insects" or “pollinators" may let certain elements pass unnoticed when an article mentions the group or species name (e.g. Bees, honeybees, aphids, coleoptera, beetle, spiders, mosquito, etc) or when uses other words to qualify species functions (e.g. Flower visitor for pollinator). Conversely, if we delve deeply into detailed search terms, we might risk finding fewer papers on the main question (Ecosystem services in small-scale farming systems related to insects/arthropods) with no or weak connection between thematic categories defined by the general question.

Table A.2. Article retrieval strategy

One essential purpose of our literature review was to include and synthesize several viewpoints of arthropod-related ecosystem services in smallholder agricultural landscapes. Thus, we searched for studies that must be high representative of the diversity of ecological and socio-economic contexts of the Global South, and we performed our search strategy by searching multi-geographic and multi-discipline databases. We conducted a literature search with the previously defined search terms (fig.1 Appendix 1) on different bibliographic databases and search engines, including Web of Science (En), Scopus (En), BASE (Fr), Scielo (Spa), Dialnet (Spa), PKP Index (Public Knowledge Project, En) and AJOL (African Journals OnLine, Fr). However, we adapted the search string to the closest subset of keywords for search engines or databases with strict character limits (e.g. BASE), or when descriptors and combinations were not satisfactory after verifying references obtained. Table 2 presents step-by-step search outputs integrating number of references about (1) insects, (2) insects + agriculture, (3) insects + agriculture + ecosystem services, (4) insects + agriculture + ecosystem services + smallholding. The sum of all the results of step four search totals 1621 documents.

Database name	Step	Search terms used	Number of results
WoS	1	TS=(insect$ OR entomo* OR arthropod*)	86 194
	2	TS=(insect$ OR entomo* OR arthropod*) AND TS=(agri* OR agro* OR forest* OR "food security" OR "food produc*")	3 611
	3	TS=(insect$ OR entomo* OR arthropod*) AND TS=(agri* OR agro* OR forest* OR "food security" OR "food produc*") AND TS=(ecosystem servic* OR ecological servic* OR ecosystem disservice$ OR "beneficial insects" OR damag* OR pest* OR pollinat* OR predat* OR parasitoid* OR herbivore$ OR natural enem* OR ((pest OR biological) NEAR/1 control) OR biocontrol* OR (ecosystem AND (provisioning OR regulating OR supporting OR cultural) NEAR/1 service$) OR "spiritual values" OR "economically important insects")	2 549
	4	TS=(insect$ OR entomo* OR arthropod*) AND TS=(agri* OR agro* OR forest* OR "food security" OR "food produc*")) AND TS=(ecosystem servic* OR ecological servic* OR ecosystem disservice$ OR "beneficial insects" OR damag* OR pest* OR pollinat* OR predat* OR parasitoid* OR herbivore$ OR natural enem* OR ((pest OR biological) NEAR/1 control) OR biocontrol* OR (ecosystem AND (provisioning OR regulating OR supporting OR cultural) NEAR/1 service$) OR "spiritual values" OR "economically important insects") AND TS=(smallhold* OR smallfarm* OR small$scale OR peasant$ OR rural communit* OR farm*communit* OR rural OR local OR stakeholder$ OR "low income" OR ((small OR family OR smallhold*) NEAR/1 farm*))	351
SCOPUS	1	TITLE-ABS-KEY (insect* OR entomo* OR arthropod*)	105 247
	2	TITLE-ABS-KEY (insect* OR entomo* OR arthropod*) AND TITLE-ABS-KEY (agri* OR agro* OR forest* OR crop*)	23 993
	3	TITLE-ABS-KEY (insect* OR entomo* OR arthropod*) AND TITLE-ABS-KEY (agri* OR agro* OR forest* OR crop*) AND TITLE-ABS-KEY ({ecosystem service} OR {ecological service} OR {ecosystem disservice} OR {beneficial insects} OR damag* OR pest* OR pollinat* OR predat* OR parasitoid* OR herbivor* OR (natural AND enem*) OR ((pest OR biological) PRE/1 control) OR biocontrol* OR {spiritual values} OR (ecosystem OR provisioning OR regulating OR supporting OR cultural PRE/1 service))	5 804
	4	TITLE-ABS-KEY (insect* OR entomo* OR arthropod*) AND TITLE-ABS-KEY (agri* OR agro* OR forest* OR crop*) AND TITLE-ABS-KEY ({ecosystem service} OR {ecological service} OR {ecosystem disservice} OR {beneficial insects} OR damag* OR pest* OR pollinat* OR predat* OR parasitoid* OR herbivor* OR natural AND enem* OR ((pest OR biological) PRE/1 control) OR biocontrol* OR {spiritual values} OR (ecosystem OR provisioning OR regulating OR supporting OR cultural PRE/1 service)) AND TITLE-ABS-KEY (smallhold* OR smallfarm* OR small-scale OR peasant* OR (rural AND communit*) OR (farm*communit*) OR rural OR {low income} OR ((small OR family OR smallhold*) PRE/1 farm*))	103
BASE	1	(insecte OR arthropode OR entomofaune)	261 068
	2	(insecte OR arthropode OR entomofaune) AND (agricult OR agrofo OR agro OR champ OR ferme)	11 915
	3	(insecte OR arthropode OR entomofaune) AND (agricult OR agrofo OR agro OR champ OR ferme) AND (service ecosystemique OR environnementa OR utiles OR benefiques OR ravageur OR disservices OR pollinat OR control)	6 591
	4	(insecte OR arthropode OR entomofaune) AND (agricult OR agrofo OR agro OR champ OR ferme) AND (service ecosystemique OR environnementa OR utiles OR benefiques OR ravageur OR disservices OR pollinat OR control) AND (rurale OR communaut OR petite OR familiale OR paysan OR vivriere OR subsistance)	1 095
Scielo	1	insecto* OR artropod* OR entomo*	2 194

	2	(insecto* OR artropod* OR entomo*) AND (agri* OR cultiv*or agro* OR forest* OR aliment* OR produc*)	1 201
	3	(insecto* OR artropod* OR entomo*) AND (agri* OR cultiv* OR agro* OR forest* OR aliment* OR produc*) AND (servici* ecosistem* OR diservi* OR servicios ambientales OR daño* OR plaga* OR control de plagas OR enemigos naturales OR control biologico OR biocontrol* OR servicios culturales OR valores espirituales OR benefic* OR poliniza* OR parasitoi* OR depreda* OR herbivor*)	23
	4	(insecto* OR artropod* OR entomo*) AND (agri* OR cultiv*or agro* OR aliment* OR produc*) AND (servici* ecosistem* OR diservi* OR servicios ambientales OR daño* OR plaga* OR control de plagas OR enemigos naturales OR control biologico OR servicios culturales OR valores espirituales OR beneficos OR poliniza* OR depreda* OR herbivor*) AND (minifundi* OR campesin* OR familia* OR rural OR pequeñ* OR comunidad*)	15

Table A.3. Eligibility criteria for the inclusion–exclusion screening phase

In order to achieve the scope of our review, criteria for papers inclusion and exclusion was previously defined to refine the results to the most relevant documents. We applied these criteria to identify and select relevant papers, first by title and abstract screening with the screen_titles and screen_abstracts functions of revtools R package (v. 0.4.1, Westgate 2019); and secondly by quality assessment through in-depth reading. Throughout the inclusion phase, any discrepancies were resolved by means of group discussion.

Criteria	**Decision**
Occurrence of predefined keywords at least in title, keywords or abstract section of the paper	inclusion
Papers writen in english, spanish or french language	inclusion
Papers presenting study-cases	inclusion
Papers type: meta-data, review, meta-analyse, book, book chapitre, Msc thesis, PhD dissertation, conference or congress presentations	exclusion
Papers published before 2015	exclusion
Not peer-reviewed papers	exclusion
Full text inaccessible	exclusion
Papers addressing arthropod or insect – related agronomic Ecosystem Services and disservices (including valuation, impacts, perceptions, assess of potential or real effects of arthropod diversity on agroecosystems)	inclusion
Papers referring to SDG (specially SDG 2, Zero hunger) through insect or arthropod key functions	inclusion
Papers addressing arthropod or insect–related Ecosystem Services that are not directly linked to food production or agroecosystems (e.g. edible insects)	exclusion
Studies held in smallholder farming context, small-scale agroecosystems, agroforestry, family farming and/or low-input food production systems (5ha threshold and/or defined as SHF by the authors following relative criteria)	inclusion
Studies held in high income countries or concerning high-input intensive agricultural systems	exclusion
Papers about livestock or agropastoral systems	exclusion
Papers which insect or arthropod sampling or assess was not made at farmers' fields (experimental station, laboratory), or from which samples are not taken from farmers' fields	exclusion
Papers not focused on exclusively arthropod trophic interactions in ES (e.g. reporting entomopathogenic fungus pest control)	exclusion

Table A.4.1 Definition of Ecosystem Services and Disservices categories and functions related to arthropods and insects.

List of ecosystem services and disservices provided by insects and arthropods and major ecosystem services related to agriculture, with examples.

ES categories	Ecosystem services	Examples
Provisioning	Food supply, products made with insect materials, alternative nutrition source, industrial production, medicinal resources, biomass	hive products (wax & honey), insects that can be incorporated in food or material production systems
Cultural	Cultural heritage, religious and spiritual values, aesthetic appreciation and inspiration for culture, art and design, recreation and tourism, physical experiential and intellectual interactions with insects, education/ entomoliteracy, indicator species and bioindicators tool, conservation tool, scientific interest	Use of insects in rural schools and educational programs, website creation devoted to insect information, insect species which are bioindicators of ecological condition in agroecosystems, inspiration for artists interested in insects, emblematic and sacred insects, heritage of knowledge on arthropods or arthropod-related knowledge and beliefs
Regulating	Control and suppression of pathogens, population regulation (plants or arthropods or fungus), pollination, regulation of soil fertility/nutrient/erosion, pest control, carbon sequestration and storage, counteract climate change, trophic network services	Pollination of crops by insects, seed dispersal, arthropods as food for other predators on higher trophic levels, parasitism and predation of pest species
Supporting	Seed dispersal, soil structure and fertility, decomposition & recycling of matter and nutrients, genetic diversity maintenance, habitat diversity and resources for species	Bio-remediation, water and nutrient cycling, decomposition, influence on soil structure and fertility, maintenance of physical, chemical, biological conditions
Disservice	Pest damage, herbivory, competition for resources	crop damage by herbivores or grain feeders

Table A.4.2 Arthropod management strategies in farming systems.

Different types of management actions reported in the literature review

Type of management strategies	Actions
Cultural	Cultural practices compatible with natural processes: Crop diversity, crop rotation, planting non-crop plants and cover crops Soil management Field sanitation and farm/field location Agricultural calendar modification Non-transgenic host plant resistance and variety selection Selective harvesting, plant density Breaking digging mounds, shade management Mulching, tillage, pruning, thinning, banding, shelling, uprooting
Ecological engineering	Conservation biological control (i.e. habitat conservation for maintaining local abundance of existing communities of natural enemies) Habitat management (e.g. shelter trees or flower edges) Intercropping Push-pull & trap cropping
Biocontrol	Introduction/release of control agents (predators, parasitoids, fungi/microbial)
Biological and mineral insecticides	Insecticides of biological and mineral origin including: ash powder, sand-limestone, botanical extracts, biopesticides, cattle dung and urine
Mechanical – physical	Mechanical and manual removal of pests and eggs Traps & strips Screens, barriers, fences, nets Roasting, fire, radiation, electricity Storage facilities: metal silo, bags
Pesticides (chemical pesticides)	Application of chemical pesticide

	Strategies for reducing/limiting chemical pesticide use
Pollinators management	Habitat management Beekeeping Other (e.g. using selective pest control/pesticide calendar)
IPM	Monitoring, preventing, sweeping Other not specified actions
Other	Doing nothing

Table A.4.3 Definition of farmers' participation levels

Index of farmers' participation in research process

Involvement level	**Definition**
0 zero or absent	No involvement of farmers or not explicitly mentioned farmer's involvement
1 passive	Farmers participate by allowing ecological/agronomic data collection and/or are involved by answering questions/in data collection (socio-economic data) (i.e. sampling on farmers' field and surveys on economics or yield but no interaction or consideration of their point of view)
2 consultation	Material incentives and contributing resources without sharing in research processes. External definition of the problems, objectives and methods, without taking on board farmers' view or definition of a common problem.
3 participatory/functional	Participatory research. Participation in learning process and results feedbacks. Common objectives and shared decision-making of some aspects, but major decision making not leaded by farmers. Few or no long-term objectives for maintaining structures or practices after the research ends.
4 collaboration	farmers as researchers or interactive farmers' participate to define problems, research questions and methods. Farmers' participation in data collection design and experiments as well as in outputs feedback and discussion.
5 endogenous iniatives	Self, shared and coordinated mobilization of famers' community in research programs from objective definitions to long-term results. Co-production of research framework, methods and outputs, taking into account different views for shared objectives (scientific and stakeholders).

Table A.5 Data extraction and synthesis

We identified, extracted and classified relevant data from selected papers relying on SRL coding form. At this phase, we fulfilled the definition of variables required and syntax for coding articles. We defined seven main domains of variables: (1) basic bibliographic data, extracted directly from metadata; (2) Authors' information, including their affiliation to discern when different from the studied agrosystem location; (3) evaluation of the transdisciplinary approach trough participation of farmers in the research process (see table 4.b) and proportion of local scientists in research team; (4) geographic location, scale covered and World Bank income classification; (5) arthropods and insects studied within habitats, crops systems and diversity; (6) ecosystem services and disservices categories and functions associated to them, as well as their impact on yields; (7) Farmers' knowledge, perception and management of insects and arthropods in their farming system, including identification of studied objects (e.g. if farmers were asked to identify insects or their functions), and systems (e.g. insects as part of a wider system).

Criteria and variables	**Description**	**Categories Considered**
Bibliographic data		
Year, Title, Journal, DOI, keywords	Article bibliographic information	
Authors information		
1st Author name, discipline and country of affiliation	Discipline and Country of affiliation of the 1st author	Discipline and belonging group: Agronomy-Agriculture, Ecology-Biology, Entomology, Social sciences and pluridisciplinary sciences

Transdisciplinarity		
Farmers' participation index	Typology of 6 levels (0 to 5) defined in previous step	0 absent; 1 passive; 2 consultation; 3 participatory/functional; 4 farmers as researchers; 5 endogenous iniatives
Collaboration index	Proportion of local affiliated researchers among research team	
Geographic information		
Country, Region	Country/countries where the study was conducted and its World region (World Bank classification)	Africa; Asia and the Pacific; Latin America and the Caribbean; North America; Europe
Income level	World Bank income categories	Low-income economies; Lower-middle-income economies; Upper-middle-income economies; High-income economies
Scale	Scale of the study	national, regional, local, transnational, multiscale, NS,NA
Study of arthropods in crop systems		
Habitat	Type of arthropod/insect habitat studied (i.e. sampling location)	crop; surrounding; forest; agroforestry; other; NS, NA
Crop type and system	Type of crop studied and type of crop system	agroforestry, crop, postharvest, other, NS,NA
Crop system scale	is the crop system a monoculture or polyculture (including intercrop and associated crops)	monoculture, polyculture, NS, NA
Insect identification	Author(s) of insect identification	scientists, farmers, extensionists, other
Functional guild	insect studied according to ES categories	pest, pollinator, natural enemies, soil arthropod, other
Taxonomic level	Taxonomic level defined for the organisms studied	clade; class; phylum; subclass; tribe; order; suborder; infraorder; superfamily; family; subfamily; genus; species; subspecies; morphotype
Taxonomic id.	Identity of the organism studied (e.g. species name)	
Ecosystem services & disservices		
E(D)S category	Categories of Ecosystem services identified/valuated in the article	supporting, regulating, provisioning, cultural, disservice
E(D)S function	Ecosystem functions related to Ecosystem services identified/valuated in the article	
E(D)S impact on yield	When measured, positive or negative effect of arthropod-insect function on agrosystem or agrosystem elements through crop yield	1 (positive), 0 (neutral), -1 (negative), NS/NA
Farmers knowledge		
Farmers' knowledge object of study	Types of farmers' knowledge on insects or arthropods studied in the article	Example: identification, functions, local knowledge
Farmers' perception	Farmers' perception of insects or arthropods reported in the article	good, neutral, bad, other
Farmers' perception evaluation	Perceived changes in importance of insects and changes in awareness or knowledge, as results	improved, not changes, worst
Knowledge system	The way of studying insects or arthropods in the global system (i.e. directly on insect function or through proxi elements)	true, false; further description
Management strategies	Management strategies of arthropods or insects in the farming system (i.e. pest, pollinator, predator management)	
Pesticide use	Use of pesticide reported in the article	true, false

Abbreviations: NA= not available or not applicable; NS= not specified in the study although mentioned

DEUXIEME PARTIE

A partir de la révision de la bibliographie, nous avons constaté l'importance majeure d'étudier les connaissances des agriculteurs sur l'entomofaune et les liens avec leurs pratiques. Reconnaître et comprendre la manière dont les agriculteur·ice·s perçoivent les insectes et leurs rôles est crucial pour élaborer des stratégies de gestion adaptées et efficaces, favorisant des transitions vers une agriculture plus durable. Pour accomplir cet objectif, nous avons proposé une étude transdisciplinaire de la perception des insectes par les agriculteur·ice·s pour déterminer comment ces perceptions et savoirs influençaient les pratiques en place, tout en identifiant les bases communes sur lesquelles il serait possible de s'appuyer pour progresser vers des systèmes agricoles plus favorables aux pollinisateurs (*pollinator-friendly*). Il était impératif de s'intéresser au départ à comprendre si les catégories d'organismes, telles que les pollinisateurs et les ravageurs, existent également dans les classifications des agriculteur·ice·s et quelle importance leur est accordée. Cette compréhension des systèmes de savoir locaux est essentielle pour co-construire des structures et des réseaux pour faciliter un dialogue entre les savoirs et les pratiques concernant les pesticides et leurs effets sur les pollinisateurs, afin d'envisager des solutions pratiques (*action-based*) grâce à la collaboration active avec les acteurs locaux.

L'objectif de cette deuxième partie est de documenter les savoirs ethnoécologiques des agriculteur·ice·s sur l'entomofaune agricole, analyser les correspondances et les divergences entre les savoirs taxonomiques et écologiques locaux et scientifiques et examiner les corrélations entre la diversité et l'abondance de l'entomofaune sur les parcelles et celles évoquées par les agriculteur·ice·s. Pour ce faire, on a mis en place une approche mixte intégrant des méthodologies ethnoécologiques et entomologiques. Cela comprend, d'une part, des observations et échantillonnage entomologique sur les parcelles, et d'autre part, des freelisting et des entretiens semi-structurés pour étudier les différences de savoirs et perceptions entre agriculteur·ice·s pratiquant l'agriculture conventionnelle (i.e. avec utilisation de pesticides) et celles et ceux appliquant des pratiques agroécologiques. Nous avons recueilli des informations sur les insectes, leurs stades de développement, ainsi que leur comportement et écologie, du point de vue des agriculteur·ice·s. Cela inclut l'observation, la description, la dénomination, ainsi que les interactions des insectes avec d'autres organismes tels que les plantes.

CHAPITRE 3

3. CONNAISSANCES ET PERCEPTIONS DE L'ENTOMOFAUNE LOCALE CHEZ LES AGRICULTEUR·ICE·S DANS LES ANDES ÉQUATORIENNES

Dans ce chapitre on s'intéresse à comment les savoirs des agriculteur·ice·s sur l'entomofaune influencent la conception de systèmes agricoles favorables aux pollinisateurs et comment l'articulation de ces savoirs d'une façon transdisciplinaire permet de développer des outils méthodologiques et pratiques pour relever les défis liés à la réduction de l'utilisation des pesticides.

Dans l'objectif de contribuer à concevoir des systèmes agricoles favorables aux pollinisateurs et à la biodiversité, notre étude adopte une approche ethnoentomologique pour explorer comment les savoirs locaux des agriculteur·ice·s peuvent façonner les barrières et les leviers de la gestion intégrée des ravageurs et des pollinisateurs. L'ethnoécologie a démontré que les connaissances écologiques locales, influencées par des catégories culturelles et des expériences personnelles, peuvent significativement façonner les pratiques de gestion des milieux (agricoles, forestiers, etc.). L'analyse des classifications et des noms locaux des organismes permet de révéler quels taxons sont jugés importants et les valeurs qui leur sont associées, illustrant comment les informations sont culturellement priorisées. Ces connaissances évoluent à travers des processus internes d'apprentissage ainsi que par des influences externes, telles que celles des autres agriculteur·ice·s ou des agents de conseil agricole. Comprendre ces dynamiques est essentiel, car elles influencent la prise de décision et impactent directement ou indirectement les pratiques agricoles et leurs résultats en termes écologiques.

Dans cette chapitre, nous avons mobilisé des méthodes ethnoécologiques de freelisting, pilesorting et entretiens semi-directifs pour documenter et étudier les savoirs écologiques sur l'entomofaune et pour analyser les liens entre la diversité de ces savoirs et les pratiques agricoles.

Cette étude nous a permis de mettre en évidence des différences significatives entre les systèmes de savoirs des agriculteur·ice·s pratiquant l'agroécologie et celles et ceux de l'agriculture conventionnelle. Les agriculteur·ice·s en gestion agroécologique reconnaissent et catégorisent plus largement les taxons d'insectes, en particulier les pollinisateurs, par rapport aux agriculteur·ice·s conventionnel·le·s, qui se concentrent principalement sur les taxons définis comme ravageurs et leurs fonctions de dégâts. Ces derniers tendent à considérer les insectes comme « nuisibles » par défaut, souvent sans une identification précise des caractéristiques écologiques. Nous avons aussi constaté que les savoirs locaux incluent souvent des informations spécifiques sur des taxons parfois désignés par une nomenclature binomiale dans le système de classification ethnoentomologique. Cela traduit une utilisation des noms génériques basés sur les interactions entre les plantes cultivées et les insectes, ce qui permet de faire des correspondances taxonomiques avec le système de référence scientifique pour de nombreux ravageurs. Par exemple, le terme « *ver des semences*/*gusano de la semilla* » correspond à *Delia platura*, diptère

abondant localement qui endommage les cultures de brocoli et s'attaque aussi au lupin au moment du semis.

On a observé, pour les pollinisateurs, que la catégorie « *abeille* » pouvait englober plusieurs familles et ordres d'insectes, définissant des catégories culturelles significatives et pour lequelles il peut y avoir un intêret de conservation. Ces catégories pourraient jouer un rôle essentiel dans la promotion de pratiques agricoles sans pesticides et plus amplement dans l'agrobiodiversité. Nous avons également constaté que les pollinisateurs, en particulier les abeilles, revêtent une importance majeure pour les agriculteur·ice·s, notamment celles et ceux pratiquant l'agriculture biologique. Ils et elles soulignent leur importance non seulement dans les parcelles agricoles mais aussi dans les espaces non cultivés et, plus largement, dans les paysages de la région.

Par ailleurs, certaines différences selon les guildes d'insectes ont été observées. Les larves de diptères sont couramment identifiées comme des ravageurs, avec le terme « *ver/gusano* » qui, en raison de sa faible spécificité, complique la gestion lorsqu'il faut constater s'il s'agit de larves attaquant les plantes effectivement. En revanche, les larves plus distinctives, comme celles des lépidoptères et des coléoptères, sont dotées de noms distincts (binomiaux) et possèdent une plus grande signification culturelle. Cette classification détaillée, bien que différente de la taxonomie linnéenne, offre des possibilités d'intégrer les connaissances scientifiques et locales. Cela permet d'envisager des stratégies de gestion sur des références communes, améliorant ainsi la compréhension et la communication entre les acteurs du terrain impliqués dans la sensibilisation sur l'importance des insectes pour l'agrobiodiversité, particulièrement pertinente face aux pratiques qui leur sont défavorables, comme l'utilisation des pesticides.

Mots-clés

Systèmes Agricoles De Petite Echelle ; Petites Exploitations Agricoles ; Savoirs locaux ; Entomofaune ; Ethnoentomologie ; Gestion des insectes en agriculture

DIVERGENT KNOWLEDGE AND PERCEPTIONS OF INSECTS BY ORGANIC AND CONVENTIONAL FARMERS IN THE ECUADORIAN ANDES

Cardenas T[1], Teixidor-Toneu I[2] , Navarrete I[3], Montufar, R[4], Dangles O [1,4]

1 Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Univ Montpellier, CNRS, EPHE, IRD. Montpellier, France
2 Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie Marine et Continentale (IMBE) - Aix Marseille Université, CNRS, IRD, Avignon Université. Marseille, France
3 International Potato Center, Quito, Ecuador
4 Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador

Abstract

Given the critical role of pollinators in sustainable agriculture, studying farmers' knowledge of entomofauna and its links to crop management is essential. This study explores how such knowledge, in combination with current farming contexts, can shape the barriers and levers of integrated pest and pollinator management to design pollinator-friendly farming systems. We used a mixed methods approach combining ethnoecological and entomological techniques—including field observations, free lists, and semi-structured interviews—to study the diversity of local agricultural insects and farmers' knowledge in smallholder farming systems in the Ecuadorian Andes, and to assess their perceptions and management of agricultural entomofauna. Our results show that organic farmers recognize and categorize more taxa, especially pollinators, than farmers using pesticides who focus more on taxa considered pests and their harmful functions. Our findings emphasize the different knowledge systems between organic and conventional farmers, highlighting the challenges of strengthen awareness among conventional farmers to improve integrated pest and pollinator management practices. Understanding farmers' perceptions and bridging gaps between scientific and local knowledge systems is crucial for improving integrated pest and pollinator management practices. Our study underscores the urgency of recognizing and integrating these knowledge systems to transform farming practices and ensure more sustainable agriculture in smallholder contexts.

Keywords

Smallholder – Farmers knowledge – Entomofauna – Ethnoentomology – Local Knowledge Systems – Pest Pollinators Management

3.1. Introduction

Anthropogenic environmental changes have led to a reduction of more than 40% of the total global insect biomass in recent decades (Hochkirch 2016, Sanchez-Bayo& Wyckhuys 2019, Wagner et al 2021). This crisis poses a threat to ecosystems worldwide and there is a growing concern about its impact on agricultural systems (Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019, Wagner et al 2021, Outhwaite et al 2022). Insect declines affect several ecosystem processes essential to agriculture, resulting in reduced or lost crop yields, favored pest infestations, and reduced or disrupted nutrient recycling (Didham et al 2020, Vanbergen et al 2020). The intensification of conventional agriculture, which relies heavily on the use of synthetic chemicals for crop management, is one of the main drivers of this loss (Frampton & Dorne 2017, Outhwaite et al 2022, Klingelhöfer et al 2022, Harvey et al 2023). The widespread use of pesticides globally presents significant health and environmental risks such as threats to non-target organisms, and soil and water pollution (Goulson et al., 2015; Klingelhöfer et al., 2022). This issue is particularly prevalent in low- and middle-income countries, where pesticides are often misused due to inadequate regulatory frameworks, lack of resources and infrastructure, and poor handling and application practices (Schreinemachers & Tipraqsa, 2012; Struelens et al., 2022).

The overlapping ecology, phenology, and evolutionary history of agricultural entomofauna create both opportunities and challenges for their management. In agroecosystems, arthropods, especially insects, are influenced by numerous environmental and anthropogenic factors, and in turn have intertwined effects on crop yield, particularly concerning crop damage, pollination, and pest control (Lundin et al 2013, Saunders 2015, Egan et al 2020). Although these functions have traditionally been considered separately, it has become imperative to focus on interactions and trade-offs, and to maximize co-benefits and synergies between pest and pollinator management (Steward et al 2014, Dangles & Casas 2019, Egan et al 2020). Integrated pest-pollinator management (IPPM) is based on recognizing this interdependence, and exploiting the synergistic opportunities offered by effective co-management of these two agroecosystem functions (Biddinger et al.2015). The IPPM framework proposes to evaluate strategies to increase crop yields and economic benefits through pest and pollinator management by quantifying the incremental gains or losses resulting from different strategies and interventions that support pest control and pollination, or favour one over the other (Biddinger et al 2015, Egan et al 2020, Lundin et al 2021).

Insects also leave lasting positive, negative or ambivalent impressions on human beliefs and material cultures, presenting challenges and opportunities for sustainable coexistence as is the case for edible or medicinal insects (Morris et al 1991; Price 2001, Lemelin et al 2016, Dangles

& Casas 2019). In contrast to the academic categorization based on evolutionary relationships, many human cultures perceive, describe, and define insects according to criteria of cultural significance, morphology (e.g., size, color), ecological traits (e.g., habitat, behavior), sometimes with quite detailed classifications (Perchonok & Werner 1969; Posey 1984, Seignobos et al. 1996). Depending on people's sociocultural profiles, conceptual models of what an insect is and does may vary among and within groups (Morris 1991, Wyckhuys & O'Neil 2007, Price 1996, 2001, Costa-Neto 2007, Gurung 2003). In the case of insects, they can be named according to their conspicuousness, life cycle stage, and relevance to humans, e.g., according to their host plant or the diseases for which they may be vectors of (Posey, 1982; Zamudio & Hilgert, 2015). It is often assumed that farmers perceive and name insects similarly, overlooking significant variations due to factors like gender and individual experiences (Zimmerer et al., 2015). By acknowledging and assessing farmers' understanding of the role of insects and the values associated with them is key to develop more tailored and effective approaches to insect management in crops, leading to more sustainable agricultural practices (Rawluk & Saunders2019, Giagnocavo et al 2022).

Differences in local ecological knowledge may influence insect management practices in agricultural landscapes as farmers' knowledge may be based on culturally meaningful categories grounded on their perceptions, experiences and language (Berlin, 1992; Navarrete et al., 2023). In smallholder farming systems, place-based knowledge from individuals and communities is often based on long experiences of agrobiodiversity management over generations (Altieri 2004, Tengö et al 2017). The study of local classifications and nomenclatures of entomofauna allows for the identification of culturally significant taxa as well as values related to them, as people tend to hierarchize information according to valuation processes (e.g., familiarity, enjoyment) (Boster 1986; Bang et al. 2007). The way people perceive, make assumptions, and construct knowledge about living things can be influenced by utilitarian, cognitive, and relational motivations (Hunn 1982, Kellert 1993, Poncet et al 2015). These perceptions may change over time as a result of changes in socio-ecological systems such as the arrival of new plants or animals, exposure to different ways of thinking, or external influences on livelihoods. In agricultural contexts, knowledge is generated, developed, and potentially changed or lost through endogenous processes of learning and experimentation, but also through the influence of agents external to communities (e.g. other farmers or agronomic extensionists) (Altieri & Toledo 2005, Pimbert 2017, Brondizio et al 2021). Knowledge and perceptions of all elements of an agricultural system underpin decision-making and the resulting actions that produce tangible results in farmers' fields (Altieri et al 2012, Berkes et al 2000). Assessing the link between knowledge and practices allows bridging the gap between research and on-farm management, ensuring that farmers' and other knowledge systems effectively meet in coherence with farmers' environmental, agronomic,

and social realities (i.e. retailers, academic, technical) (Altieri, 2004; Struelens et al., 2022; Vanbergen et al., 2020).

In the context of the Cotopaxi province in Ecuador, we sought to determine whether conventional and organic smallholder farmers have different knowledge and perceptions of insects. The aim of our field-based research work was to gain insights into smallholder farmers' knowledge, perceptions, and practices related to insect management, and to further explore whether their knowledge of entomofauna might lead some farmers to be proactively engaged and willing to take pollinator-friendly actions (i.e., actions to mitigate the negative effects of pesticides), as well as to assess the relevance of scientific approaches to weight up insect management alternatives. We use a mixed-methods approach combining ethnobiology and entomology to (a) document farmers' ethnobiological knowledge of farm-related entomofauna, (b) analyze correspondences and discrepancies between taxonomic and ecological local and academic knowledge and (c) correlate field insect diversity and abundance with farmers knowledge. We discuss the implications of knowledge divergence and congruence for integrated pest and pollinator management as opportunities for a pesticide-free transition by supporting insect knowledge systems.

3.2. Materials and methods

Study area

This study was carried out in the province of Cotopaxi (5,956 km^2), located in the central part of the Ecuadorian highlands at altitudes between 2700 m and 3600 m. Annual temperatures range from 5°C to 27°C, but there can be significant differences between locations over short distances due to specific topography, vegetation, climatic, and hydrological conditions. Average rainfall is also highly variable, ranging from 500 to 1,000 mm/year, with a rainy season from November to May and a dry season from June to October, with recurrent droughts and frosts. The landscape is dominated by small-scale mixed crop and livestock farming, with semi-natural scrub and forest. The majority of the households depend mainly on agriculture for their livelihoods and engage in subsistence farming or a mixed commercial and subsistence farming. A small number of farmers own larger areas of land for commercial purposes only (flowers, maize, lupin or other commercial crops). Maize (*Zea mays*), beans (*Phaseolus vulgaris*), peas (*Pisum sativum*), wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*), vetch (*Vicia sativa*), oats (*Avena sativa*), and other fodder crops (alfalfa, ryegrass, clover) and some fruit trees and vines are the dominant crops in the area, with most smallholders practicing one or two intercropping rotation in an annual

growing season. Six villages, representative of the diversity of farming systems in the province, were surveyed with the initial participation of 4060 farmers previously engaged in collaborative research projects (Mina et al., 2020; Struelens et al., 2024).

Data collection

We combined different participatory research tools to collect quantitative and qualitative data on local ecological knowledge of insects and agricultural entomofauna over the duration of an Andean Lupin cropping cycle (2022-2023). The first steps of data collection involved regular attendance at community social events, and informal discussions with 60 farmers. This was followed by household surveys and in-depth interviews, both of which used ethnobiological methods to gather information on knowledge, as well as monitoring insects in the fields (28 farmers). Data collection protocols were approved by the Ethics Commitee of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador (Number CEI-OE-07-2021). Throughout the research process, free prior informed consent was obtained from farmers and their willingness to participate in workshops and interviews was respected.

Groups categorization

Establishing a conclusive typology from highly heterogeneous socioeconomic data presented many complexities in the studied context and on first stages of the study we did not to identify associations underlying profiles and practices patterns. Therefore, we implemented an additional interview stage allowing identifying with farmers the most significant criteria for them in terms of insect management and their relationship to agroecology and aligning with the importance of farmers' self-perception in categorizing agricultural practices (Pretty 1995). This approach allowed us to refine our group categorization based on farmers' priorities and perspectives into two main categories: "organic" and "conventional". Although these terms do not precisely capture the gradient of possible practices, they reflect the farmers' designations based on whether or not they used chemicals in their crop management (Supplementary Material 1). Briefly, the "organic" group comprised farmers who actively engaged in practices using botanical and mineral inputs and maintaining natural habitats within their farms. Farmers in this group also identified themselves with philosophies aligned with supporting agrobiodiversity and sustainable farming. Farmers in the conventional group included farmers who primarily used synthetic pesticides and fertilizers and identified themselves with more industrial or intensive farming reasoning, focusing on maximizing short-term yields and not attaching priority to factors such as agrobiodiversity or the environment. We also use these terms as because they are the most commonly used in the literature.

Documenting farmers' knowledge and perceptions

In order to investigate farmers' relationships with insects in a holistic way, we conducted preliminary observations in the context on-farm and off-farm activities (planting, crop management, community meetings). We collected information taking an emic approach (i.e. farmers' own references and meanings) by designing surveys and interviews that emphasized questions that are meaningful to farmers (Harris 2001). We also conducted household surveys to collect information on farmers' livelihoods, relevant to investigate potential correlation between knowledge, actions and contextual characteristics, including: (a) general socio-economic data, and (b) agricultural data (field and crop management practices such as weeding, crop rotation, etc.; Supplementary Material 1). In our discussions and interviews with farmers, we used the words "*insect*" (rather narrow and formal, in Spanish *insecto*) and "*bug*" (which includes a wider range of small terrestrial crawling or flying organisms, in Spanish *bicho*).

We used an ethnotaxonomy methodological framework to explore how farmers name and classify insects, reflecting structures of their knowledge systems allowing for a deeper understanding of insect categories beyond simple cataloging of ethnospecies (Da Silva Mourao & Barbosa 2018). This approach included freelisting and pilesorting for ethnoentomology assessments to understand the significance of insects by drawing from observable similarities and differences that define ethnotaxa (i.e. ethnospecies or culturally recognized categories of organisms based on shared knowledge, practices, and perceptions; Medin et al. 1999, Berlin 2014). Free-listing helps to reveal knowledge and perceptions of important or salient items from a domain through language labels and conceptualizations (Gravlee 1988; Quinlan 2005, 2018): frequently mentioned taxa may indicate common knowledge among farmers, and differences in list length and content allow for the assessment of variation between groups (Furlow 2003, Bernard 2017). We carried out an initial free-listing exercise with 60 farmers, asking them to list every insect they could think of or have seen in their fields. Items cited by more than one farmer were then used in a pile sorting exercise. Pile sorting allowed us to assess how organisms are classified based on perceived similarities or differences (e.g., attributes, behaviors, dynamics and relationships) (Price 1996, 2001; Brewer 2002). We used a structured, unconstrained pile-sorting approach (i.e., no restrictions on the number of items in a pile or the number of piles). A total of 32 pictures were shown to 28 farmers who were then asked to group the cards according to whatever criteria made sense to them (Lima et al 2016; Muniz et al 2014). Two non-insect items (spiders, hummingbirds) and three non-free-listed insects were included to control for sorting patterns (Price & Gurung 2006). Farmers were then asked to explain why the insects in each pile were grouped together, to name the pile and to record details of the words associated with each group. An in-depth structured survey was conducted, asking open-ended questions about insect

functions, perceived abundance, and impact on crops (seasonality, insect-plant relationships), as well as related qualitative information about perceptions, feelings, and local myths (Supplementary Material 2).

Insect sampling in farmers' fields

We collected insects from famers' fields (49 sampling plots in total) using pan traps in order to assess insect diversity and abundance (Padron et al 2020). We aimed to capture taxa mainly from the orders Lepidoptera, Diptera and Hymenoptera, as they were the most quoted by farmers and the most commonly used in insect biodiversity monitoring (Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019) in order to study correspondences between freelists and abundances in the fields. In each plot three plastic plates (blue, white, yellow), 15 cm in diameter, were distributed according to the total area (1 trap per 1000 m2). Each plate was filled with a solution of neutral soapy water and left for a period of 72 h. Specimens were collected, transferred to collection tubes, transported to the laboratory and preserved in 75% ethanol for later sorting and identification. All specimens were identified to species level where possible, or classified into morphospecies and related to ethnotaxa categories from the ethnoecological survey. We grouped insect species and morphospecies into four guilds defined by their main function reported in the literature on their role in agricultural ecosystem services and disservices (i.e. pests, predation, parasitism and pollination; Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019; Cardenas et al 2022).

Data analyses

Freelists

Prior to analysis, raw lists from free lists were translated into English and reviewed to combine root words, synonyms, and grammatical forms of the same word, grouping the same items that were worded differently by multiple participants (e.g., chopper (*trozador*) / cutter (*cortador*) insects) (Supplementary Material 2).

From freelists data, we performed Wilcoxon matched-pairs test to assess differences in the number of items listed between organic and conventional farmers (Quinlan 2017). For each insect ethnotaxa and each farmer's group, we calculated Smith's salience index, a weighted mean salience index that takes into account the number of items on a respondent's list, the frequency of items across all respondents' lists, and the placement of the item on the list (Smith 1993):

$$S's = \frac{\sum\left(\frac{L - R_j}{L}\right)}{\mathrm{N}}$$

where L is the length of each list, Rj is the rank of item j in the list, and N is the total number of lists. Data from free-listing and pile sorting were analyzed using the R packages AnthroTools (Purzycki & J-Lane 2017), FreeSortR (Courcoux 2022), and Vegan (Oksanen et al 2022).

Pile-sorting data

Pile-sorting results were transformed into a species-by-species data distance matrix to assess dissimilarity using the Jaccard index (Krebs 1989) to represent farmers' groupings of insects. Taxonomic pair distances (Lopez et al 1997) were calculated for each farmer group as a measure of relatedness, ranging from 1 (taxa paired together were highly related) to 0 (taxa were unrelated) in the final sorting step for each farmer. We used nonmetric multidimensional scaling (NMDS) to assess the variation in ethnotaxonomic structure and to describe differences between grouped data from organic farmers and conventional farmers. NMDS allows the search for multidimensional clustering of similar items (i.e., closed together on the biplot) based on farmers' perceptions, but also for dimensions characterizing insect attributes (i.e., defining the similarity between items). We then qualitatively analyzed the names of the piles and the characteristics attributed to each pile, as well as the reasons given for grouping, keeping track of the categories used in each round. We used a modified typology criteria of attributes for classifying arthropods from Price (2001) and Price & Björnsen (2006). The criteria typology (Supplementary Material 3) included non-exclusive categories defined by agronomic traits (agricultural roles and functional relationship to crop production, host plants, pollination or crop damage); aesthetics/values/feelings (sense of beauty or beautiful, ugly, weird, scary); behavior/morphology (focused on locomotion i.e. flying or not flying and on morphological characteristics such as color or size); ecology/biology/metamorphosis (larval or adult stage); environment/distribution/location (habitat/crops and where the insect is found in the plant e.g. leaf, stem); and status (seen or not seen, known or not known to occur in this area). Finally, we constructed a taxonomic tree of insects from the pile sorting data to schematize the composition of the entomofauna communities as perceived by farmers, and we compared these with the corresponding taxonomic units of the Linnean classification (Berlin 1973).

Insect field sampling

In order to look for differences between farmers' perceptions and field entomofauna, we identified insects collected from the fields and measured insect's abundance and diversity in farmers' fields. Insects from pan traps were classified by type (pests, generalist predators, pollinators, and parasitoids) and compared to abundances with insects reported by farmers in the freelists.

3.3. Results

Farmers' local entomological knowledge

Overall, organic farmers listed significantly more insects (5 items ± 3) than conventional farmers (4 items ± 2, Wilcoxon rank test, P = 0.04, Figure 1) and there were marked differences in the frequency and relative importance of insects listed by the two categories of farmers (Figure 2). Organic farmers listed a higher proportion of beneficial insects (on average 19.2% of their insect lists, of which 10.8% were pollinators) than conventional farmers (on average 13.4% of their insect lists, of which 7.5% were pollinators). Both organic and conventional farmers listed a similar proportion of pest taxa (36-39%).

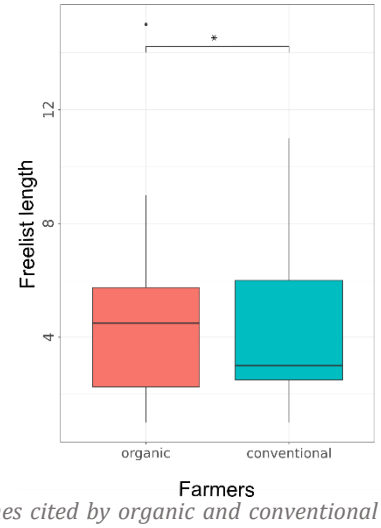


Figure 1 *Number of insect names cited by organic and conventional farmers during the free listing study. *: p = 0,04; Wilcoxon rank sum test with continuity correction*

For conventional farmers, the most salient insect taxa in the free lists was a the larva of Agrotis, a noctuid moth, whereas for organic farmers the most salient insect was a pollinator (butterfly, Figure 2). Butterflies and flies were among the most salient insects for both groups, closely followed by ladybugs. Organic farmers mentioned more pollinators and other types of beneficial insects (e.g., predators of herbivorous pests) than conventional farmers, although the differences were not statistically significant (Figure 3; Wilcoxon P > 0.422). Insects belonging to categories of honeybee and no-honeybee pollinators, predators, and pests, showed different salience index scores between conventional and organic farmers, although not significantly (Figure 3; Wilcoxon tests, P values 0.6, 0.8, 0.4 and 0.8 respectively).

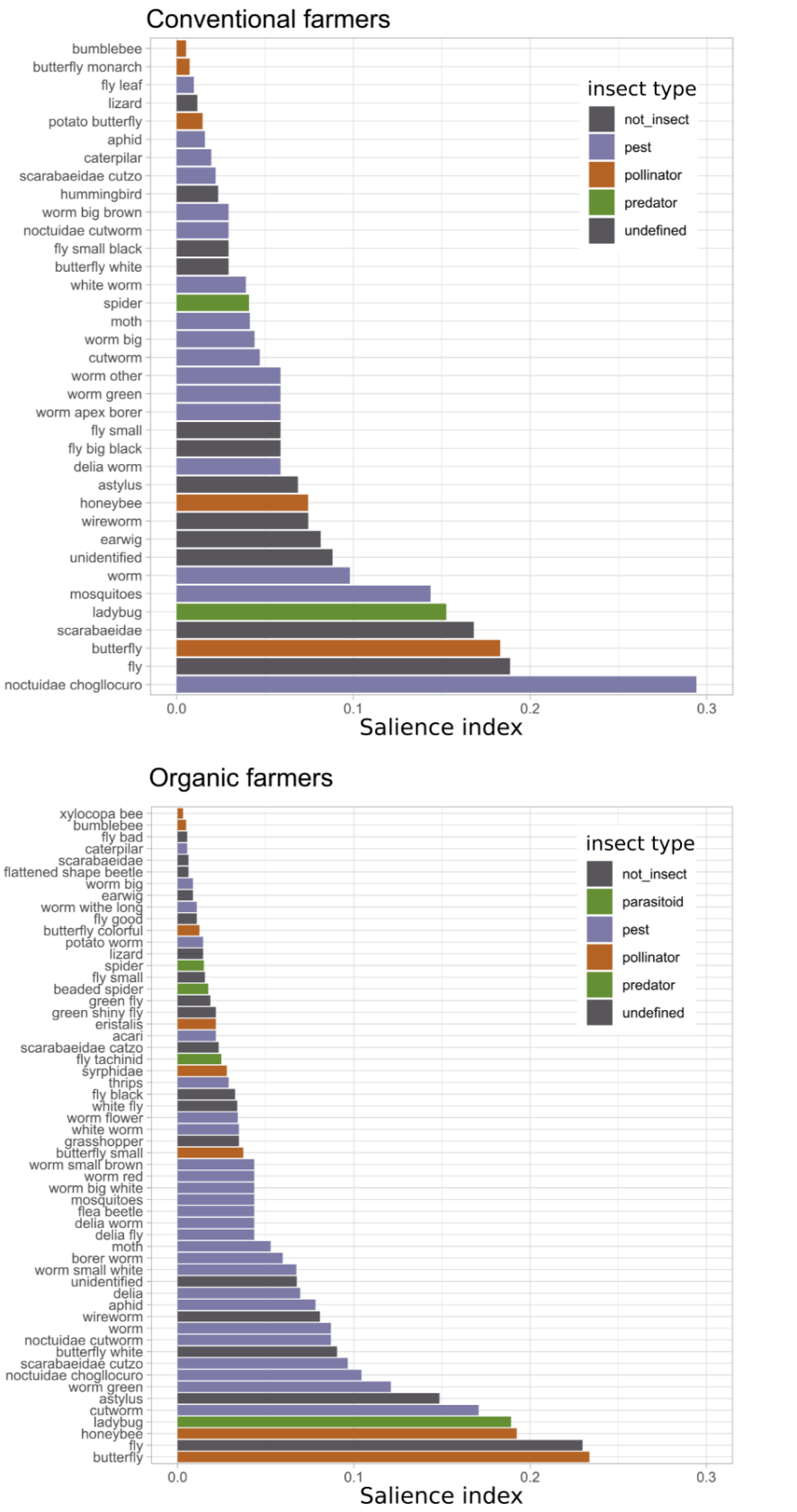


Figure 2 *Salience index of insect names for conventional and organic farmers based on free listing studies. Taxa are classified by guilds of agricultural interest as pests, pollinators, parasitoids and predators. The remaining categories correspond to undefined or unknown categories of taxa where the names of the cited items did not allow a guild to be assigned.*

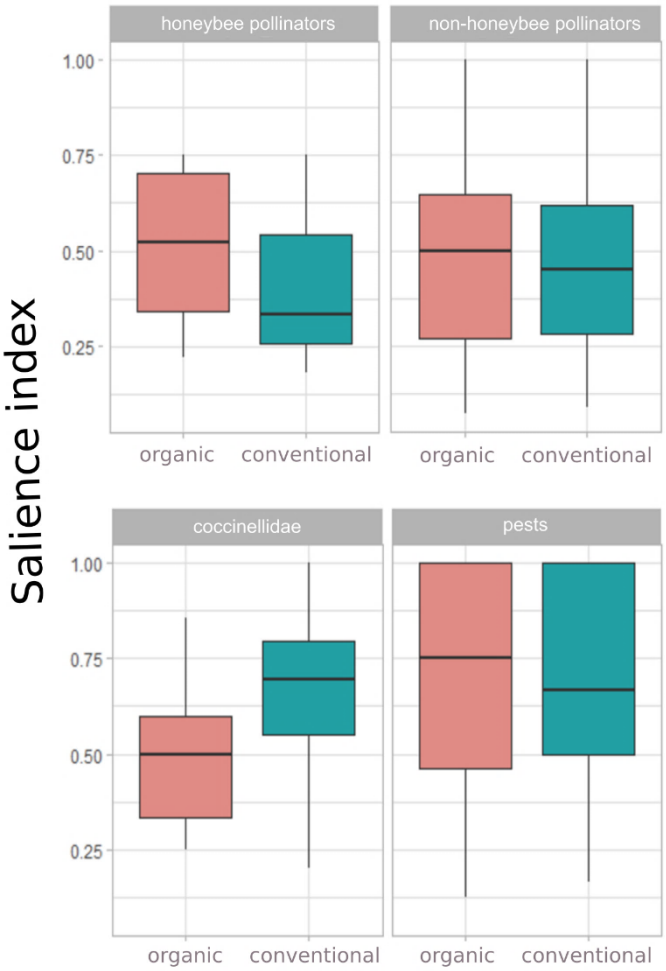


Figure 3 *. Salience index obtained from free listing studies with organic and conventional for four types of insect: (a) honeybee ; (b) non-honey bee pollinators ; (c) ladybugs ; (d) pests. Wilcoxon tests for differences of salience scores were non- significant P > 0.05).*

Correspondences and differences of entomological knowledge

We found an important divergences between the farmers' classification system, which is largely based on the insect's stage of development (morphology), and the Linnaean system, which is based on the evolutionary relationships between species (Figure 4). The taxonomic correspondence analysis, between farmers' ethnotaxa and the entomological Linnaean classification, revealed varying levels of correspondence (sensu Berlin 1973). There were 14 instances of one-to-one correspondence. Overdifferentiation was observed in 8 cases, while underdifferentiation was more prevalent, with 20 instances of type 1 and 36 instances of type 2.The farmer's classification system was reflected in the names of insects. They mostly used generic names (e.g., *abeja*/bee, *mosca/*fly) and, when they wanted to refer to a specific taxon, they described its size (20%), color (36%), or the part of the plant where they usually observed it (e.g. *gusano blanco del tallo*/white worm of the stem) to distinguish it from the generic taxon. Terminal

categories (i.e. not being further subdivided) were mostly identified with uninomial names (n = 113, 60.4%, e.g., *mosca*), followed by binomial names (n = 54, 28.8%, e.g., *mosca azul*). The ethnotaxa *gusano/*worm was present in all the lists, reflecting its importance in farmers' knowledge. However, it also reflected the fact that it is not a particularly important category for crop management concerns, since this naming in itself did not make it possible to determine whether or not it was an organism considered harmful to plants, or in most cases, did not necessarily evoke a link with a function or action on the part of farmers. Conversely, for larger Lepidoptera and Coleoptera larvae, terminal monotypic and specific unique names are widely used (e.g., *chogllocuro* with *curo* meaning worm in local Kichwa language), as well as their separate adult stage ethnotaxa (e.g. *catzo, pilikitze,* also words of Kichwa origin), meaning that they may have greater cultural importance given their highest salience score.

Overall, farmers' ethnotaxonomies under-differentiated Linnean taxa, meaning that a single taxon may refer to two or more scientific species or even genera. This is the case for the most cited item, *gusano*/worm, which may correspond to any holometabolous insect of the orders Lepidoptera, Diptera, Coleoptera or Hymenoptera in the larval, egg or pupal life stages. The generic categories *gusano*/worm, *mosca*/fly, and *mariposa*/butterfly encompass many phylogenetic (Linnean) groups at different taxonomic levels from species to families. At the same time, they represent only one domain for farmers' grouping categories for both organic and conventional farmers. While both groups of farmers recognized generic insect categories, organic farmers listed more specific insects (as mentioned in, Figures 1 and 2). One-to-one correspondences (N=14) mainly concerned either common charismatic insects (e.g., honeybees, ladybugs, butterflies) or easily recognizable Coleoptera (eg. pilikitze – *Astylus bourgeoisi*). In addition, farmers reported the presence of a relatively large variety of larvae and flies, belonging to different categories, such as *barrenador mayor*/large stem borer (Diptera, *Agromizidae*) and *barrenador menor (de la hoja)/*small stem borer (of the leaf) (Diptera, *Stratiomidae)*. Only 25% of interviewed farmers from the conventional farmers surveyed distinguished between the two taxa on the basis of the leaf or stem symptoms caused by their attack, compared with 45% of the organic farmers. Conversely, some pest species had proper local names, such as the maiz pest *Agrotis spp*. (*chogllocuro*), as well as exogenous names introduced by technicians and agronomists for pest taxa that showed one-to-one correspondence and were even named by their Latin name (i.e., *Delia platura*). Interestingly, large-body bees, named *bungas* refered to any insect similar to a bee but not being *Apis mellifera*, and seemed to fit either Megachilidae, Bombus or Xylocopa bees, whereas *abejorro* were narrowly restricted to bumblebees. Finally, the "bee" category included both Hymenoptera and non-Hymenoptera organisms (e.g., Syrphidae family, which mimic bees) and was defined more by its functions (making honey, pollination) and more precisely described

behavior (sucking flowers or flying around them "*chupan las flores/vuelan por las flores*"), whereas the rest of the pollinators, e.g., solitary bees, were generically classified as flies or wasps and many were not given common names.

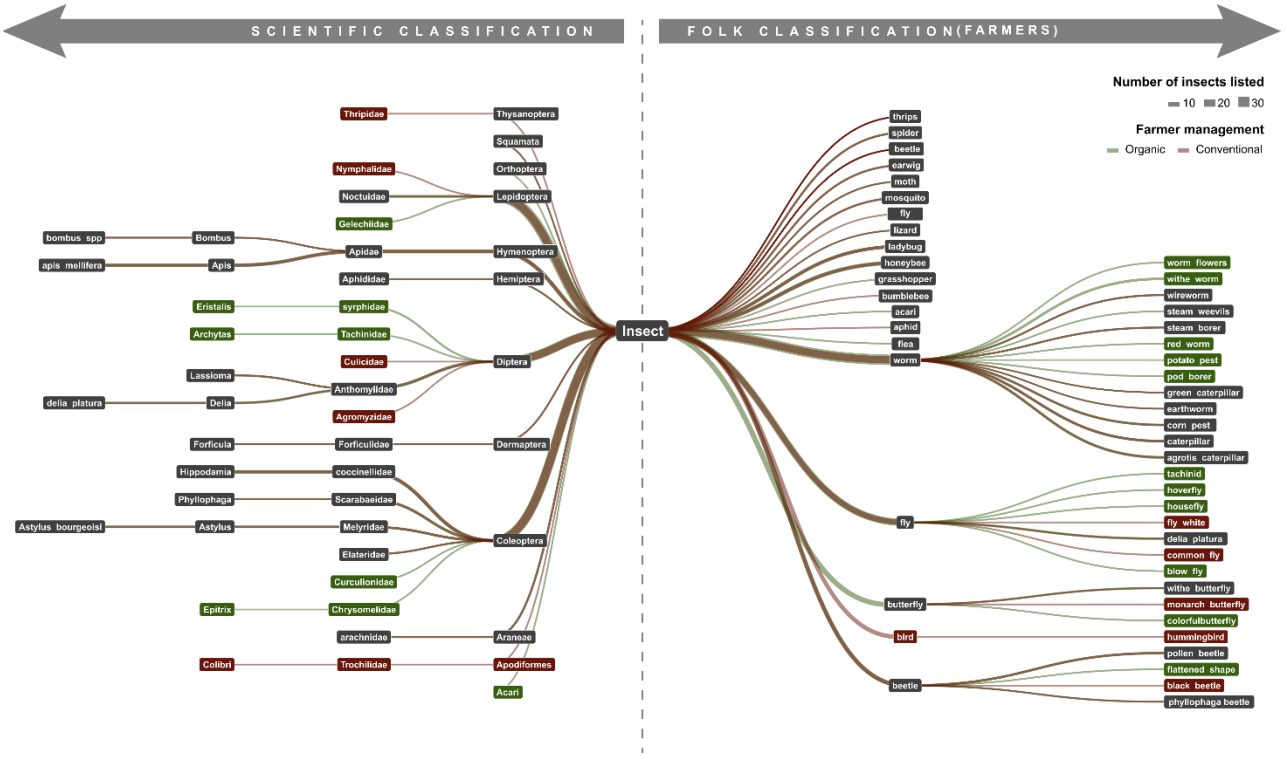


Figure 4 *Linean and farmers' classification systems of the entomofauna. The common unique beginner including the whole insect domain seems to be equivalent to the class Insect, but including other taxa from the phylum Arthropoda (spiders or scorpions, pers. obs.) in the case of the farmer classification.*

The pilesort data also showed that the structure and composition of classifications differed between organic and conventional farmers. Conventional farmers grouped insects according to the different developmental stages of metamorphosis (separating larvae from adults). On the other hand, organic farmers related larvae to adult stages together, mostly separating insects by their perceived roles in agriculture as "beneficial insects" (e.g., Coccinellidae), "pests" (e.g., moths) and insects with unknown effects on crops (e.g., Scarabaeidae beetles; Figure 5).

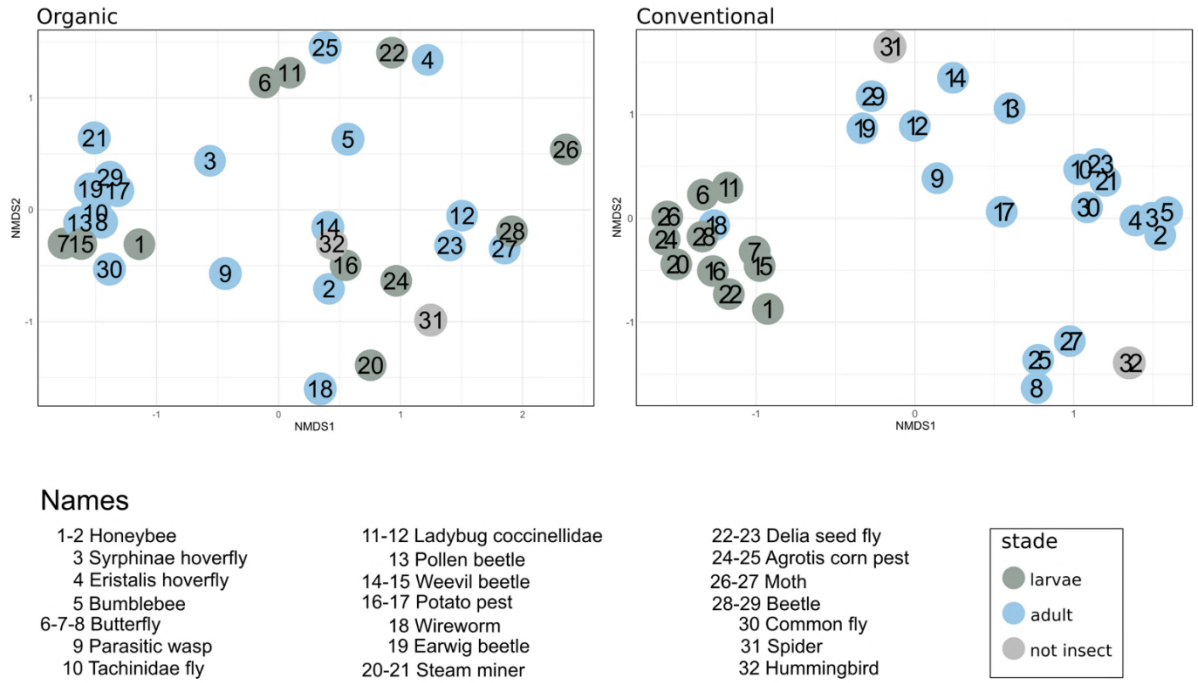


Figure 5 *- Ethnoentomological classifications from NMDS clustering analysis of pile sorting for conventional (14 farmers) and organic (14 farmers).*

Pile sorting allowed us to understand insect classifications derived from farmers' experiences and perceptions. We collected information on classification criteria from a total of 268 piles (Supplementary Material 3). We identified six main criteria for classification (Figure 6,): (a) status (known/seen/unknown/not seen), (b) ecology (distribution/location on the plant), (c) biology (metamorphosis of the insect), (d) aesthetics/morphological characteristics (shape/colors), (e) agricultural function (pollinator/pest), and (f) other attributes (e.g., edibility). For both groups of farmers, aesthetic, agricultural, and biological criteria were the most commonly cited reasons for classification (N = 10, 9 and 7, respectively), but organic farmers were more likely to cite agricultural and biological criteria (N = 10 vs. 6 for conventional farmers). Beyond these findings, the process of sorting and categorizing was an interesting exercise for both farmers and researchers, as some farmers even struggled to define distinct groups, arguing that certain organisms could fit into several categories, and others not at all, as they were only present in the fields because "it was their place to live" or "their right" (pers. obs.).

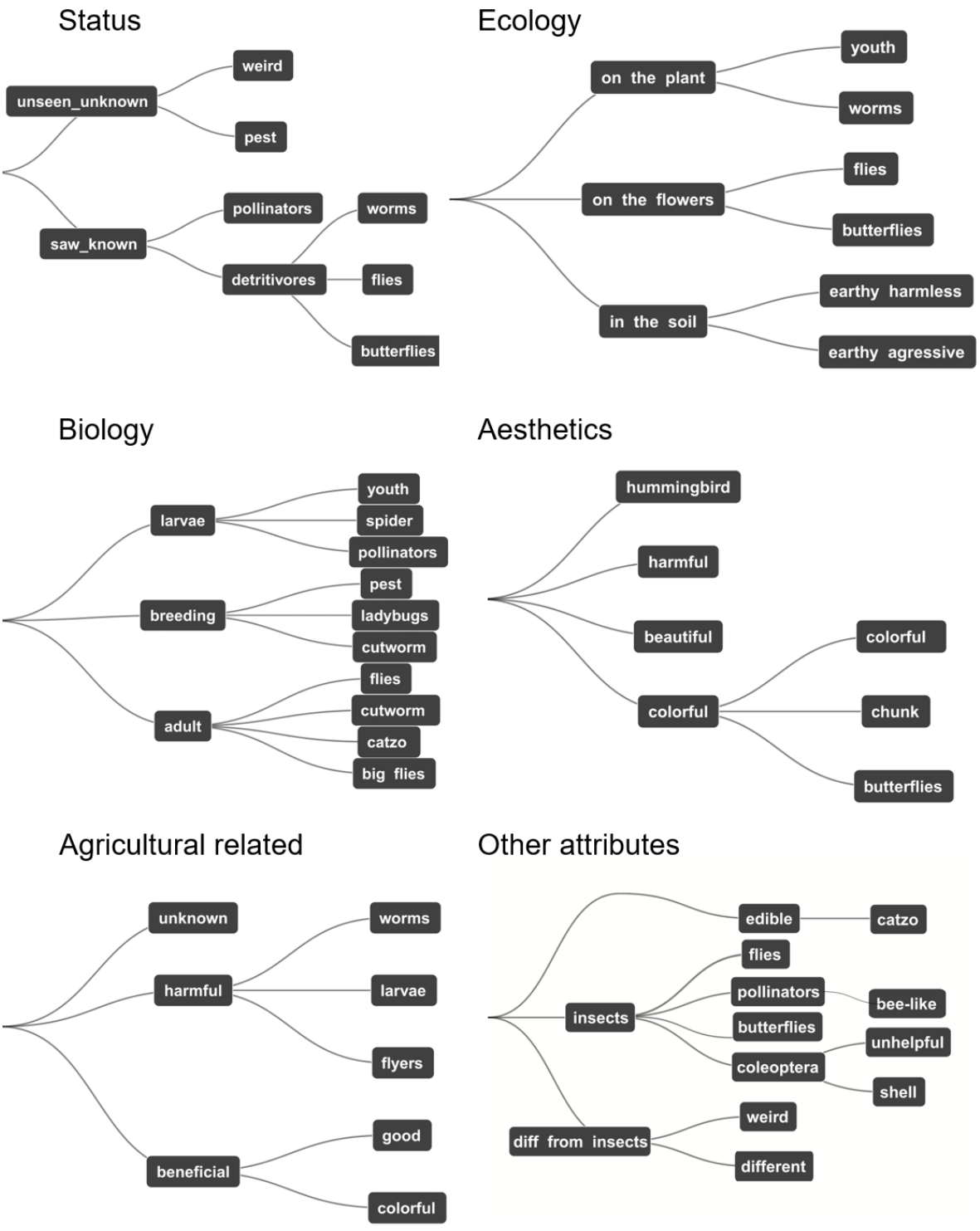


Figure 6 *- Diversity of ethnotaxonomic classifications of insects by conventional (C) and organic (O) farmers. The two types of farmers were distributed as follows: Status (1C, 2O), Ecology (1C), Biology (3C, 4O), Aesthetics (5C, 5O), Agricultural function (3C, 6O), Other attributes (3C, 4O).*

Differences of species composition between field traps and freelists

We collected a total of 3,321 individuals from 49 farmers' fields using pan traps. The insects collected belonged mainly to the orders Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera and Coleoptera, with an overall mean species richness per field of 9.2 (± 2.6) (Supplementary material 4). The abundance of insects in the fields was contrasted with the ethnotaxa cited by the farmers in the free lists (Figure 7). Nine taxa or categories of insects cited in the free lists were also commonly recorded in the field sampling, including some of the most prominent taxa such as *Apis mellifera*, *Astylus sp.* and various Diptera taxa from the families Agromyzidae and Anthomyiidae. However, parasitic and predatory Hymenoptera and Diptera, as well as non-honeybee pollinators collected during field sampling were not widely cited by farmers (e.g. Bibionidae, Tachinidae). Ethnotaxa for Lepidoptera, which typically refer to moths and butterflies, were also frequently observed in the trap samples. Field sampling revealed a greater diversity of pollinator species, that were more abundant in organic farming fields but these taxa were under-represented in the farmers' lists or represented only by honeybees. Despite a similar abundance of pest insects in the entomological traps for both groups, there was an over-representation of two Diptera families in the farmers' data for conventional farmers group (Figure 7).

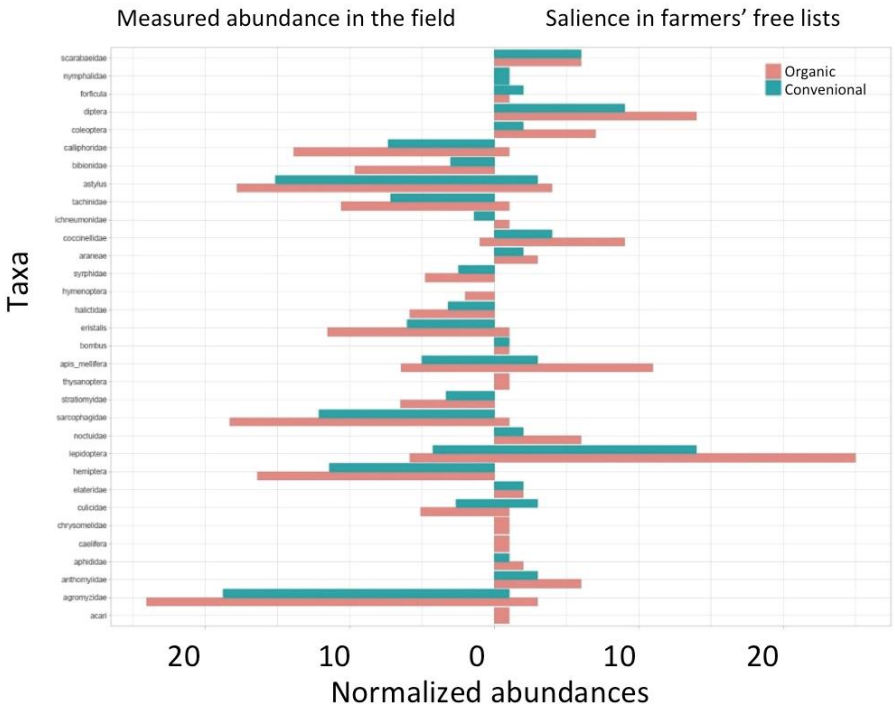


Figure 7 *- Compared insect abundances from field trap data and freelisting data*

3.4. Discussion

Farmers' entomological knowledge

The cultural domain of "*insect*" in the Ecuadorian Sierra appeared to be based on the empirical experience and value system of the smallholder farmers, grounded on morphological, ecological (e.g., flight behavior), and cultural knowledge, especially about insect functions in relation to crops. Our results are consistent with definitions reported in other ethnoentomological studies that include non-insect organisms (Santos-Fita 2008, Gurung 2003, Price 2001, Costa-Neto 2004, Krause et al 2010). The inclusion of non-insect animals in the insect domain is often explained by their high degree of anatomical-morphological similarity to the phylum Arthropoda, such as spiders. Similarly, vertebrates such as birds and reptiles are often included in the 'insect' domain because of the ecological context and the cultural importance attached to these taxa (Costa-Neto 2000, Gurung 2003). However, due to the specific nature of insect life cycles, the ethnotaxa of the larval, pupal, and adult stages do not always coincide for the same biological species (Dwyer 1976, Costa-Neto & Magalhaes 2007).

Despite prevailing conclusions about farmers' entomological knowledge suggesting that insect-related knowledge may be limited to a small number of conspicuous species (Bentley 1992, Hunn 1992), our results show that it encompassed a wider range of culturally important taxa, partly based on functionality (Price 2006, Wyckhuys et al 2019, Okolle et al 2016). Farmers' entomological knowledge included specialized knowledge about specific insect groups, supporting the hypothesis that binomial names predominate in biological groups whose ecology is better known by local people (Begossi et al 2008). In fact, farmers mostly listed monotypic generic names (e.g. bee, fly), followed by binomial names for polytypic generic names, composed of morphological and ecological data to differentiate them (e.g. worm and plant part or color). This is linked to the tendency for descriptive and monotypic generic names to decrease as cultural knowledge, usage, and salience increase (Zamudio & Hilgert 2015, Tobes et al 2022). We found that in many cases, generic taxa were also named according to crop-insect interactions, allowing taxonomic equivalences with the Linnean system to be established for most pests based on freelists (e.g. seed worm = *Delia platura,* a fly whose larva attacks broccoli and lupin crops).

Similarly, salience values for ethnotaxa or categories varied depending on insect guild (Figure 2). Flies and worms were among the most salient items, and their definition is limited to "to be pest" and rarely includes other taxa than Diptera and Lepidoptera, for which it is often explicitly stated that they are butterfly or moth worms. Despite its high significance for farmers, the ethnotaxa "worm/*gusano*" was found to pose important challenges for crop management, as the term does not allow to specify whether the it is linked to any specific action by farmers. In

contrast, larger Lepidoptera and Coleoptera larvae having specific names (e.g., *chogllocuro*) and distinct adult stage names (e.g., *catzo*, *pilikitze*), with greater cultural importance. These species facilitate better understanding and communication among stakeholders involved in coordinating insect management practices in agriculture (Diemer et al., 2020; Yeleliere et al., 2022) and in broader conservation efforts (Barua et al., 2012; Beaudreau et al., 2011). This tendency to create separate taxa along metamorphic stages and though changes in morphology, ecology and behavior is one of the most challenging discrepancies between scientific and farmer perspectives (Morales & Perfecto 2000, Altieri 2002, Correia Medeiros et al 2022). It might also represent a great opportunity to work together to co-construct communities of knowledge and practices around common guidelines and leverage biodiversity in problem-based projects.

Differences in knowledge and perceptions between organic and conventional farmers

We observed that conventional farmers have considerably less specialized knowledge of entomofauna than organic farmers do. As smallholder agriculture appears to be increasingly integrated into the intensification of food production trend, there is often a shift in priorities at the expense of traditional crop management practices (Altieri et al 2012, Pimbert 2016). One important consequence of these changes is a deep transformation of local knowledge, including the risk of disappearance of certain traditional skills, as farmers adapt to new practices and adopt external inputs such as chemical fertilizers and pesticides (Altieri 2004, Melash et al 2023), leading to a gradual disconnection from the understanding of natural processes (Chitere & Omolo 2008, Parraguez-Vergara et al 2018). However, this process can be viewed rather as a critical system transformation than an isolated loss of knowledge reflecting the evolving environmental conditions, as knowledge is adaptive, particularly in the face of climate change (Perez et al., 2010; Weiskopf, 2020; Yeleliere et al., 2022). In SHF, it might seem an inherent, even a necessary, step for knowledge systems to hybridize when farmers are compelled to modify their understanding and practices as hybridization of knowledge systems represents an adaptive strategy essential for developing resilient agricultural practices (M. A. Altieri, 2004b; Weiskopf, 2020; Yeleliere et al., 2022).

Reliance on agrochemicals has a direct impact on the presence of entomofauna in farmers' fields. In our study, it might be possible that reliance on agrochemicals weakens farmers' awareness of ecological interactions in their fields, leading to a decrease in their ability to both detect damage and take advantage of beneficial ecological phenomena associated with insects (Zamudio & Hilgert 2015, Shipley & Bixler 2017). A second reason for the weakening of the socio-

ecological interpretation may be the active participation in farmer community activities, organizations and local networks of organic farmers but not conventional farmers (e.g. seed exchange, collective production of plant- based inputs or breeding farm supplies). Farmers involved in these activities seemed more likely to share and discuss their own experiences and observations about insects with family, neighbors, and other farmers. Conventional farmers were most likely to receive advice on crop management from commercial retailers or agronomy technicians. Consequently, a significant amount of entomological knowledge (names, definitions, etc.) may come from external sources and is often acquired directly through meetings or workshops, facilitated by agronomic institutions. This highlights the importance of recognizing the particularities of small-scale farming and the strong socio-cultural ties within them, where social structures can facilitate the diffusion of entomological knowledge and insect management practices (Rebaudo & Dangles 2011).

Differences in entomological classification systems

Our analysis revealed extensive differences between farmers and scientific classifications (Figure 4), but not drastically different from other ethnoentomological systems (Krause et al 2010, Beaudreau et al 2011). Our results confirm the multidimensionality of Andean farmers' classification systems, combining cognitive, ecological, and functional grouping strategies, among others (Santos-Fita & Costa-Neto 2009, Zamudio & Hilgert 2015). Inconsistencies between classifications also reflect underlying fundamental differences in how communities perceive biodiversity, which becomes a critical point when it comes to agricultural contexts (Altieri 2002; Lam et al 2020, Vanbergen et al 2020), as research on arthropod-related functions remains mostly oriented towards pest control (Dangles & Casas 2019, Wykchuys 2019, Cardenas et al 2022). The degree of specificity in knowledge about insects, exemplified by the distinction between broad categories such as "flies" and more precise classifications such as "stem fly" or "stem worm," has significant implications for agricultural practices. For example, identifying an insect as a "stem borer" (*Anthomyiidae, Diptera*) or a "seed worm" (*D. platura*) allows for targeted interventions that optimize pest management strategies. Conversely, ambiguous terms such as "fly" or "worm" lack the precision required for effective pest management and may lead to misdirected efforts.

These differences highlight the importance of supporting farmers in shaping changes in their ecological knowledge (Parraguez-Vergara 2018, Fernandez-Llamazares et al 2023) and strengthen local knowledge to help conserve insects threatened by certain agricultural practices. In light of rapid environmental and economic changes, farmers must promptly adapt their knowledge to cope with accelerating shifts. Thus, providing targeted support and resources to facilitate effective knowledge adaptation is crucial for ensuring sustainable agricultural practices

and resilience amidst ongoing challenges. By deepening insights into insect ecology, functions, and phenology, increased entomoliteracy exchanges could enable farmers and other rural stakeholders to jointly manage and conserve insects in agricultural contexts, while strengthening the resilience of local knowledge systems (Morales & Perfecto 2000, FAO 2009, Tendall et al 2015, Pretty et al 2018). In our study, we emphasized the importance of co-constructing knowledge by focusing on identifying shared insect taxonomic references, rather than assessing farmers' accuracy in relation to the academic system (Bentley 1989, de Oliveira Lima et al. 2016, Correia-Medeiros et al 2022). This approach could allow for more comprehensive and inclusive crop management strategies that address both farmers' concerns, such as crop yield stability, and scientists' concerns, such as the protection of biodiversity and pollinators. Farmers' knowledge could thus be better interwoven with academic knowledge in a two-way learning process to improve social and ecological processes, as knowledge systems are known to cross-fertilise (Tengö et al 2014; Torrents-Tico et al 2021, Teixidor-Toneu et al 2023). This is particularly relevant as smallholder farmers face accelerated environmental changes in the landscape and increased pressure on crops (Tscharntke et al 2012, Wagner et al 2021, Bezner Kerr et al 2021).

In the Cotopaxi region intensification of pesticide use, the arrival of monocultures for export (especially broccoli and flowers), and more recently, global environmental issues (i.e. climate change, Hannah et al 2016), increase the risk of both agrobiodiversity and associated knowledge loss (Fernandez-Llamazares et al 2021, Fernandez-Llamazares et al 2023, Benavides et al 2012). More hybrid and transdisciplinary approaches that integrate different forms of knowledge need to be developed. The active involvement of farmers would promote a more comprehensive understanding of entomological agricultural dynamics and effectively promote adaptive management practices (Altieri 2002, Teixeira et al 2018, Maderson 2023). This calls for rethinking human-insect relationships and highlights the need for co-construction of knowledge-based practices (Altieri 2004, Gomez-Baggethun et al 2013, Vanbergen et al 2020). For example, shifting the focus to a farmer-based classification of insect taxa based on their experiences, perceptions or explanations of insect traits, behaviors, dynamics and relationships in agroecosystems would allow better targeting ecosystem services and disservices categories and the relevance they attach to them (Price 1996, 2001; Morales & Perfecto 2000).

Implications for integrated pest and pollinator management

IPPM strategies aim to combine actions for crop yield benefits while addressing inconsistencies from coping with ecosystem disservices (Biddinger et al 2015, Egan et al 2020). Our findings from field observations and pile sorting analysis revealed complex systems that vary between farmers, using different criteria to categorize entomofauna (aesthetics, agronomic,

ecological, etc.). This diversity refines the dichotomy of the "beneficial/harmful" insect paradigm (Lemelin et al 2016, Shipley & Bixler 2017) and addresses the long-standing lack of a holistic vision to integrate beneficial contributions to soils and plants (Krement & Miles 2012, IPBES 2015, Nicholls et al 2016), harmful ones (e.g. herbivory and crop damage) (Gurr et al 2003, Stwart et al 2014, Wyckhuys& O'Neil2007). This phenomenon has also been observed in agricultural contexts, where farmers are primarily concerned with avoiding yield losses and protecting crops from damage, before considering the potential benefits of pollination or other contributions from entomofauna in reducing pesticide use (Altieri 2004, Garibaldi et al 2011, Okolle et al 2016, Morales & Perfecto 2000). Comprehensive assessments should consider both material and non-material values to accurately capture the complexity of entomofauna contributions to smallholder farming systems. In our study, farmers ranked a set of reasons for crop management issues, following a different hierarchy of priorities (Supplementary Material 5). Pest control remained the most cited concern for all farmers, but they also emphasized the importance of labor, water and land access, and climatic issues. Commonly, concerning pest management, not all insects are considered when choosing how to manage fields and the surrounding habitats (Elisante et al 2019, Ngoya et al 2023) to favor or disfavor certain insects (IPBES 2016, Arnold et al 2021). We found that in the case of organic farmers, particular attention was placed on diverse insect characteristics, both negative and positive, emphasizing that in addition to their harmfulness, they can be seen as part of the functioning of ecosystems or as indicators of the good environmental status of their crops (see Supplementary Material 5). This kind of broader perception might contribute to the development of common agricultural actions against or in favor of entomofauna, leading to culturally appropriate practices and attitudes towards insects (e.g. more tolerant to low damage levels, adapted to insect cycles) (Carrie et al 2012, Pramova 2021, IPBES 2015, 2017). Making management decisions with consideration for insects and their links to the diversity of knowledge systems, perceptions, and values could help to achieve a more comprehensive approach to crop insect-oriented management, strengthening agricultural and non-productive values (e.g., pest control or pollinator-friendly frameworks; Senapathi et al 2015, Hall & Martin 2020, Christmann et al 2021). This also may help scaling up assessments of insect management relationships beyond individual fields.

3.5. Conclusion

Our study from smallholding in the high Ecuadorian Andes highlights the dynamics of farmers' entomological knowledge and its crucial role in improving crop management. The diversity of farmers' classification of entomofauna reflects the diversity of perspectives on insects, influenced by the type of agriculture practiced (organic or conventional). Our results call attention

to the multifunctionality of insects, as perceived by farmers, and the trade-offs between them when defining agricultural practices for entomofauna in their fields. We identified convergences between farmers' knowledge and practices with integrated pest and pollinator management (IPPM). This holistic vision considers the diversity of insects and their functions in agriculture, emphasizing the synergistic effects between pest control and pollination. Although pest control and pollination management are often treated separately, our findings suggest that farmers knowledge system might support more integrated approaches of management also reinforcing their knowledge on insect taxa and their roles in agroecosystems. For example, some farmers mentioned removing certain plants at the field margin due to pest attraction, despite knowing that flowers could be beneficial for pollinators.

Understanding diverse perceptions in SHF contexts is crucial for support actions to combat the ongoing decline of agricultural biodiversity and associated knowledge and practices. Our study also underscores the need for better collaboration between scientists, stakeholders (et. extensionists, beekeepers) and farmers to address the low perceived importance of insects, specially pollinators in agricultural decision-making. Integrating interdisciplinary research methods helps making conservation efforts targeting pollinators more accessible and practical for sustainable agriculture. This reinforces the need for a comprehensive common and problem-based perspective that encompasses insect diversity and their associated contributions, including non-anthropogenic and non-material values, which are crucial for making informed decisions on insect management. Facilitating farmers' adaptation to changing conditions and fostering knowledge transformation is essential for ensuring the sustainability and resilience of agricultural systems.

Acknowledgements

The authors are grateful to all the farmers involved in the study for generously sharing of knowledge, time, and experiences. This work is part of the project “Agroecological management of crop insects: Towards a sustainable collective goal for farmers” conducted within the Crop Collaborative Research Program funded by the McKnight Foundation (grant number 19-309). TC was supported by a PhD grant from the ARTS program by the French Research Institute for Development (2021-2024). We thank the local collaborators for assistance in field work.

3.6. Matériel Supplémentaire Chapitre 3

Supplementary Material 1 - Farming data from the Cotopaxi Region in Ecuador

Table S.1.1 Data of household participants in this study.

Data from surveys and other ethnoecological methods including demographic, socioeconomic and farming characteristics as well as insect-related knowledge and perceptions

code farmer	farming	sex	age	education level	household size	years in agric	weekly farming hrs	crops numb	pest ctrl actions	crop mngt	agri tools	farm leading	info network	reasons insect manag	score knw pest	freelist length
1	organic	F	50	0	3	50	70	4	3	5	Manual only	couple	agr. advisor	yield quantity	25	6
2	organic	M	65	1	4	60	14	3	2	4	mech. and manual	couple	farmer/neighbor	yield quality	25	4
3	organic	F	68	1	2	60	70	5	1	5	mech. and manual	female	farmer/neighbor	yield quantity	12,5	6
4	organic	F	41	6	5	30	60	7	3	5	mech. and manual	couple	family	improve env.	62,5	15
5	organic	F	64	1	2	70	24	4	3	3	mech. manual & animal	female	retailer	yield both	37,5	3
6	organic	M	45	6	5	50	56	5	1	5	mech. and manual	couple	agr. advisor	yield both	62,5	7
7	organic	F	73	0	5	60	70	3	2	4	mech. and manual	female	family	pest control	37,5	5
8	organic	F	39	2	3	30	45	3	2	4	mech. and manual	female	family	pest control	25	6
9	organic	M	62	3	4	50	55	5	2	7	mech. and manual	male	family	pest control	62,5	11
10	conventional	M	53	1	5	50	30	6	3	4	mech. and manual	family	family	yield quantity	25	7
11	conventional	F	35	6	2	30	36	4	0	6	Mechanical only	female	retailer	yield both	25	2
12	conventional	M	23	1	4	5	30	4	3	3	mech. and manual	male	retailer	yield both	12,5	2
13	conventional	F	46	1	5	30	45	3	2	4	mech. and manual	female	family	yield both	25	4
14	conventional	M	56	6	5	60	28	6	1	6	mech. and manual	family	agr. advisor	improve env.	12,5	6
15	conventional	M	46	2	7	50	40	5	2	5	Mechanical only	couple	retailer	improve env.	0	3
16	conventional	F	53	1	5	50	56	3	3	5	mech. and manual	female	farmer/neighbor	yield quantity	12,5	1
17	conventional	F	46	5	6	20	12	6	0	3	mech. and manual	couple	agr. advisor	pest control	25	4
18	conventional	M	59	3	7	60	35	5	1	5	Mechanical only	couple	farmer/neighbor	yield quantity	12,5	2
19	conventional	F	42	2	5	40	15	3	2	4	mech. and manual	male	farmer/neighbor	pest control	25	3
20	conventional	F	37	1	4	5	5	1	2	5	mech. and manual	female	farmer/neighbor	yield both	0	8
21	conventional	M	41	3	8	30	56	2	2	6	mech. and manual	male	other	yield both	0	9
22	organic	F	43	3	6	5	60	6	1	5	mech. and manual	family	retailer	pest control	12,5	4
23	organic	F	50	4	5	50	16	2	3	6	mech. and manual	couple	family	improve env.	12,5	5
24	conventional	F	55	4	1	50	10	5	2	6	Mechanical only	female	other	benefits	25	3
25	organic	F	53	4	5	30	42	6	2	4	mech. and manual	female	farmer/neighbor	improve env.	0	7
26	conventional	F	54	1	4	30	14	4	2	4	mech. and manual	female	family	yield quantity	0	5
27	organic	F	62	1	4	40	14	3	1	2	mech. and manual	family	farmer/neighbor	benefits	12,5	2
28	organic	F	65	1	5	60	20	3	3	4	Manual only	family	family	pest control	12,5	8

Table S.1.2 Description of variables

Variables description and examples of data collected for each type of variable

data	variable name	description
farmer	farmer code	codes assigned to participants for anonymizing data
farming group	farming group	the farming group defined by the organic or conventional types of management
sex	sex	male/female
age	age	age in years
ed. level	education level	1 to 6 level adapted from Ecuador national scholar system
household size	household size	number of people in household (adult & children)
years in agric.	years in agriculture	ranging number of years in farming
weekly farming hrs	hours spent in agricultural activities	number of hours spent weekly in agricultural activities
farm leading	farm leading person	who is the person making decisions about crop management (female, male, couple; the hole family...)
crops nb	number of crops	number of different crops cultivated in selected fields for the agricultural cycle studied
agri tools	agricultural tools	agricultural tools used for farming (mechanical including tractor, manual work, animals, manual spraying tools)
pest control nb	number of pest control	actions that farmers do for controlling target pests (e.g. spraying pesticides, putting mineral or botanic substances...)
crop management	number of farming practices	actions of crop management, including soil, integrated pest management farmers do during the crop cycle
info network	agriculture network-source of information or advice	Farmers' information sources for crop management strategies, focusing on insect management but not exclusively
reasons insect manag	reasons for managing insects	reasons why it is important to manage insects whithin crops
score knw pest	score of knowledge of pest damage	Identification of pest damage from 8 pictures expressed in %
freelist length	freelist length	Number of insects cited in freelist

Table S.1.3 Description of agricultural practices in each category of farming type

management strategy	farming activities
organic	preparation of organic products (plant-based, mechanic) microbial pest control application (baculoviruses) soil preparation and weeding application of organic extracts for seed and plant protection/ pest and disease control Harvest and manual post-harvest grain selection
conventional	preparation of seed coating with insecticide chemical/mineral fertiliser application for soil preparation reseeding and weeding with herbicide preparation of pesticide application (mixtures of insecticide-fongicide and preparing fumigation equipments) pesticide application (insecticide, herbicide, fungicide) including Carbamates, lamdacihalotrina ,Neonicotinoids, Organophosphates, Organophosphates, and Pyrethroid Harvest and post-harvest grain selection

Supplementary Material 2

Information on entomofauna taxa reported by farmers in our study. For each taxa, we collected data on local names (freelists), associated functions, feelings and perceptions of insect's behavior and abundances. Local names are expressed in Spanish or in Kichwa languages.

Table S2.1 insect ethnotaxa, naming and associated perceptions

Taxa id	generic local names	Functions related to crop fields	image
Agrotis (Lepidoptera)	gusano cogollero cortador trozador chogllocuro chocllocuro	reproduction sucking flowers harmless plant damage pest control bioindicator	 Photo : D. Mina
Anthomyiidae (Diptera)	mosca mosca del tallo mosca plaga	plant damage	 Photo : T.C
Astylus bourgeoisi (Coleoptera)	pilikitze	pest control sucking flowers plant damage harmless	 Photo : O. Dangles
Hemiptera	plaga de la papa pulgon de la papa pulgones	plant damage	 Photo : D. Mina
Bombus spp (Hymenoptera)	abejorro bunga	flying/crawling around honey prod pollination build honeycombs sucking flowers honey prod pollen taking	 Photo : T.C
Coccinellidae (Coleoptera)	mariquita	pest control crop enhance flying/crawling around pest control	 Photo : T.C
Beetles (Coleoptera)	escarabajo catzo	farm animal feed plant damage	

	picudo Escarabajo de la papa gusano blanco de la papa	harmless flying/crawling around soil processes bioindicator	 Photo : D. Mina
common fly (diptera)	mosca	plant damage sucking flowers	 Photo : T.C
Delia platura (Diptera)	mosca de la semilla	plant damage reproduction	 Photo : D. Mina
Dermaptera	cachudo tijeretas	plant damage	
Eristalis (Diptera)	abeja mosca-abeja	honey prod hive products pollination flying/crawling around pollen transport medicinal sucking flowers plant damage	 Photo : T.C
Apis mellifera Honeybee (Hymenoptera)	abeja	flying/crawling around pollen transport pollination honey prod crop enhance hive prod sucking flowers plant damage reproduction	
hummingbird (not arhtropod)	colibri kinde	sucking flowers pollen transport flying around bioindicator pollination	

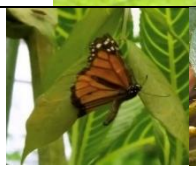
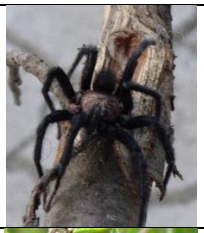
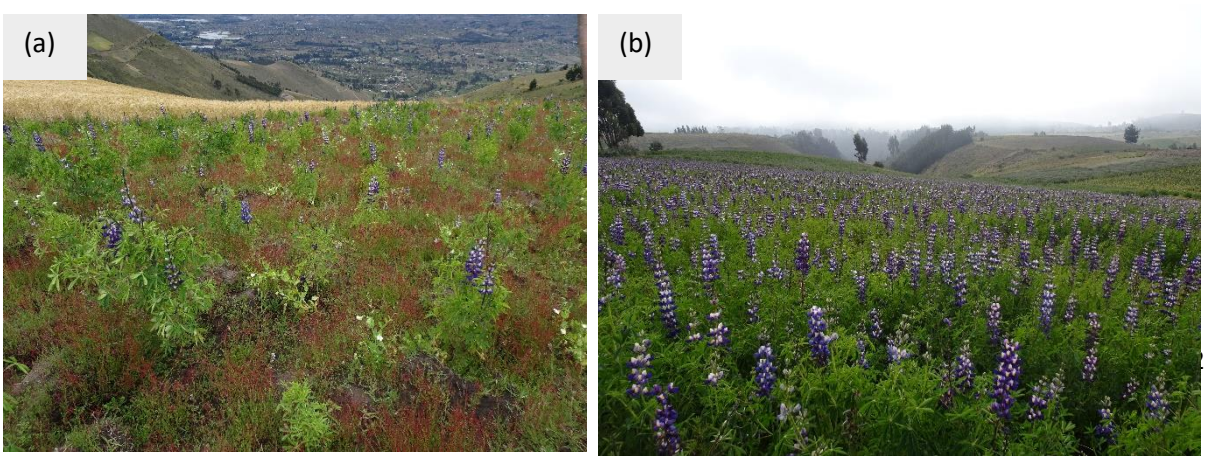
Ichneumonidae (Hymenoptera)	avispa mosca	harmless pest control	 Photo : O. Dangles
butterfly (Lepidoptera)	mariposa	sucking flowers flying/crawling around plant damage reproduction harmless walk around pollination	 
moth (Lepidoptera)	polilla	harmless reproduction sucking flowers crop enhance plant damage	 
spider (not insect arthropod)	araña	bioindicator build webs pest control predation	 Photo : T.C
Syrphidae (Diptera)	abeja mosca	pollen transport honey prod crop enhance pollination sucking flowers flying/crawling around harmless	 Photo : T.C
Tachinidae (Diptera)	mosca peluda mosca	crop enhance pest control	 Photo : T.C

Figure S2.2 Images of Andean smallholding farming landscapes

(a) fields of organic farming (b) fields of conventional farming type



Supplementary Material 3

Categorization criteria typology by farmers according to aesthetics values and feelings; agriculture functional groups; biological attributes (behavior morphological); insect ecology (metamorphose, environmental distribution/location); and status (known or seen in the area).

Table S3.1 typology of pilesorting classifications

ethnotaxonomy typology	descriptive features
aesthetics values feelings	agressive
	agriculture role functional
	attributes behavior morphological
	bad
	bad larvae
	beautiful
	beautiful ugly
	buterflies beautiful
	butterflies
	colorful
	confusing
	earthy
	earthy agressive
	earthy ugly
	edible
	fragile
	good
	hummingbird
	ladybugs
	lucky
	poisonous
	status known seen
	ugly
	ugly horned
	weird
	yellow
status known seen	attributes behavior morphological
	catzo
	earthy harmless
	ladybugs
	other unknown
	remainder
	saw known
	status known seen
	unknown
	unknown adults
	unseen unknown
	aesthetics values feelings

ethnotaxonomy typology	descriptive features
ecology biology metamorphose	adult
	agriculture role functional
	attributes behavior morphological
	bees
	beetle larvae
	beetles
	bird
	breeding
	bumblebees
	butterflie larvae
	butterflies
	carapaces
	catzo
	developping
	diff from insects
	earthy young
	ecology biology metamorphose
	edible
	eggs
	flies
	hoverflies
	hummingbird
	insects
	ladybugs
	larvae
	medium
	pilikitze
	pollinators
	pollinators adult
	pollinators larvae
	scorpion
	spider
	stem
	worms
	youth

ethnotaxonomy typology	descriptive features
attributes behavior morphological	agriculture role functional
	attributes behavior morphological
	bones less
	bumblebees
	butterflies
	crawler
	diff from insects
	digger
	earthy
	ecology biology metamorphose
	environmental distribution location
	flies
	flyers
	flyers bad
	flyers good
	flyers normal
	hairy flies
	horned
	horned rounded
	hummingbird
	insects
	larvae
	legless
	naughty
	other worms
	pollinators
	shell
	shell big
	shell small
	striped colors
	sucker
	walkers
	wingless
	wings
	with legs
	with shell
	workers
	worms
	worms, do not fly

ethnotaxonomy typology	descriptive features
environmental distribution location	agriculture role functional
	attributes behavior morphological
	climber
	cutworm
	detritivores
	digger
	ecology biology metamorphose
	environmental distribution location
	flies
	flower
	flyers
	hummingbird
	in the soil
	nest
	on the flowers
	on the plant
	plant worms
	pollinators
	soil
	soil adult
	soil youth
	underground
	worms
agriculture role functional	aesthetics values feelings
	agriculture role functional
	attributes behavior morphological
	bees and beneficial
	beneficial
	butterflies
	cutworm
	flies
	harmful
	harmful eyes
	harmful flight
	harmful wings
	harmless
	harmless flight
	harmless worms
	intermediate
	moth
	pest
	pollinators
	unhelpful

Supplementary Material 4 Taxonomic richness and abundances per field per treatment

Table S.4.1 Insect diversity from entomological traps

Sampled species and morphospecies from farmers fields

conventional (14)		organic (16)	
Eristalis	53	Eristalis	148
Stratiomyidae	12	Stratiomyidae	45
Apis mellifera	35	Apis mellifera	49
Tachinidae	54	Tachinidae	130
Sarcophagidae	178	Sarcophagidae	382
Calliphoridae	62	Calliphoridae	214
Bibionidae	10	Bibionidae	135
Halictidae	11	Halictidae	50
Culicidae	7	Culicidae	34
Syrphidae	9	Syrphidae	32
Ichneumonidae	2	Ichneumonidae	1
Agromyzidae	422	Coccinellidae	1
Hemiptera	149	Agromyzidae	657
Lepidoptera	23	Hymenoptera	8
		Hemiptera	333
		Lepidoptera	39

Supplementary Material 5

Additional questions from semi-directive surveys collecting farmers' opinions and perceptions on crop management. First, farmers were asked to list crop management problems, in general and concerning insects in particular. Then, they ranked the difficulty it represented for them on a Likert scale from 1 (minor importance), 2 (mildly importance), 3 (very important), 4 (most important).

problem	farming	most important	very important	mildly important	minor importance
insect pests	conventional	8	1	1	4
	organic	6		6	3
labor and land access	conventional	2		1	1
	organic	6	1	2	1
water access	conventional	1		2	1
	organic	4	2	1	1
climatic	conventional	1	2	1	
	organic	3	1	1	1
market access	conventional		1	1	
	organic	1		1	1
plant diseases	conventional		1	1	1
	organic	1	1		2
other plant problems	conventional	1	1	1	1
	organic	3	2		1
insufficient fertilizer	conventional				
	organic	1	1		
knowledge	conventional				
	organic			2	
seeds soil	conventional				2
	organic				1

CHAPITRE 4

4. VALEURS MULTIPLES ET CONTRIBUTIONS DE L'ENTOMOFAUNE AGRICOLE DANS LES ANDES ECUATORIENNES

À partir de la caractérisation des savoirs locaux, il est possible de reconnaître leur nature dynamique et la manière dont ces savoris coévoluent au sein des groupes d'agriculteur·ice·s. Élargir les analyses pour inclure les liens entre ces dynamiques et les systèmes de valeurs associés constitue un intérêt majeur pour la transition agroécologique. Une compréhension plus fine des interactions entre les contributions positives et négatives associées aux insectes est essentielle pour identifier et mobiliser des leviers de changement visant à réduire l'utilisation des pesticides. Cette démarche nécessite une approche intégrant les savoirs locaux et scientifiques par le biais de mesures directes de terrain pour promouvoir des pratiques agricoles qui valorisent les fonctions écologiques des insectes tout en minimisant leurs impacts négatifs.

Dans ce chapitre, nous proposons une compilation des données recueillies tout au long de la période d'étude du cycle agricole du Lupin, issues des enquêtes, des échanges informels avec les agriculteur·ice·s, ainsi que de l'observation participante sur le terrain. Nous avons adopté le cadre d'analyse de l'IPBES des Contributions de la Nature (*Nature Contributions to People*) pour classifier et caractériser les contributions citées par les agriculteur·ice·s concernant les insectes, ainsi que les valeurs qu'ils et elles leur associent. Cela a permis d'élargir nos réflexions vers d'autres dimensions, au-delà des services écosystémiques, dans les relations entre humains et insectes, et d'analyser les impacts de leurs interactions dans les systèmes agricoles de petite échelle, qui constituent le cas d'étude de cette thèse.

Les résultats de cette partie ont permis de constater des différences dans l'évaluation des contributions entre les catégories matérielles, non matérielles et de régulation. Ces variations semblaient être liées à plusieurs facteurs, tels que le stade de vie de l'insecte (larve ou adulte), son identité taxonomique, sa présence ou visibilité dans les parcelles ou autour et les savoirs des agriculteur·ice·s. Par exemple, les abeilles sont très appréciées pour des raisons liées aux rendements et les ressources alimentaires. Nous avons également observé que d'autres taxons, comme les syrphes, se voient attribuer les mêmes contributions que les abeilles en raison des ressemblences avec celles-ci. Et, bien que les pollinisateurs bénéficient d'une attention particulière en raison de leur importance culturelle et symbolique, les taxons des stades larvaires des lépidoptères et des diptères sont principalement perçus à travers leur impact négatif sur les cultures.

Notre étude met en lumière l'importance d'intégrer la diversité de constributions, valeurs et d'évaluations associées à l'entomofaune agricole, pour mieux comprendre les dynamiques socio-écologiques liées à leur gestion. Nous avons pu identifier, qu'au-délà des indicateurs de visbilité ou de fréquence traditionnellement employés pour étudier les savoirs locaux, la diversité de catégories associées aux différents taxons se structurait autour des compromis entre les

contributions matérielles, non matérielles et de régulation, et les conflits et contradictions entre celles qui spont positives ou négatives. De même, les types de valeurs associées aux différentes groupes d'insectes nous a permis de mieux identifier des stratégies efficaces pour préserver la biodiversité tout en soutenant la résilience des systèmes agricoles.

Cette étude propose ainsi d'examiner les rapports humains à la Nature, à travers la relation agriculteur·ice·s-insectes fondé sur la reconnaissance des contributions et de l'existence des insectes dans les systèmes agricoles de notre cas d'étude. En s'intéressant à cette relation, les résultats de ce chapitre suggèrent que, si des alternatives rentables et écologiques étaient disponibles, certains agriculteur·ice·s seraient plus enclins à abandonner l'usage des pesticides lorsque cela est conforme aux valeurs présentes ou potentiellement présentes dans leur système. Par conséquent, il est essentiel de comprendre en profondeur les liens entre savoirs, perceptions et actions qui se traduisent dans les pratiques de gestion spécifiques et les valeurs attribuées aux différents NCP des insectes, en particulier aux pollinisateurs, pour promouvoir des transitions durables dans les systèmes agricoles de petite échelle.

Mots-Clés

Contributions de la Nature aux Populations – NCPs – IPBES – Agriculture de petite échelle – Entomofaune – Entomofaune agricole – Insectes – Valeurs Multiples

MULTIPLE VALUES AND CONTRIBUTIONS OF ENTOMOFAUNA TO SMALLHOLDER FARMING IN THE ECUADORIAN ANDES

Cardenas, T[1], Demongeot M[1], Aumeeruddy-Thomas Y[1], Dangles O [1,4]

1 Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Univ Montpellier, CNRS, EPHE, IRD. Montpellier, France
2 Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador

ABSTRACT

A critical aspect of the agroecological transition in smallholder farming systems is the recognition of the diversity of cultural values and perspectives held by farmers. Yet, traditional knowledge and local practices have often been overlooked in ecological, agricultural and crop protection research. This study aims to contribute to the characterization, knowledge co-building and understanding of farmers' relationships with agricultural entomofauna and to assess the tradeoffs between the positive and negative contributions of insects in the agricultural landscapes of the Ecuadorian Andes. We applied ethnoecological methods of field observation, free listing and surveys during an agricultural cycle between 2022 and 2023 with 28 farmers. We adapted the IPBES framework of nature contributions to people (NCP) to identify differences in how farmers value insect contributions, regarding material, non-material, and regulating NCPs, according to crop management practices i.e., conventional or organic. We identified 243 NCPs in 10 categories related to intrinsic, instrumental, and relational values. Our results revealed important differences between farmers' practices: farmers engaged in organic practices cited a higher number of NCPs than those engaged in conventional practices (135 and 108, respectively), indicating a broader recognition of the multifunctional roles that insects play in agroecosystems. Organic farmers particularly emphasized nonmaterial and regulating NCPs (38 and 40 respectively), suggesting a more holistic understanding of insects' contributions beyond short-term material benefits. Conventional farmers, however, seemed to have a more balanced perception across material and regulating NCPs, with fewer mentions overall. Our results suggest that organic farmers have a more nuanced and aware perspective on insect diversity and functions, recognizing a greater variety of taxa and a broader range of NCPs. They recognize the importance of species, habitats, and the complexity of ecological processes and interactions. In contrast, conventional farmers emphasize the material and economic values of fewer agricultural-related insect taxa, mostly viewing them negatively. These variations are influenced by factors such as insect life stage, species identity, observation ease, and farmers' beliefs and practices. The diversity of NCPs of the

IPBES conceptual framework has been instrumental in helping to integrate broader sociocultural, ecological, and economic perspectives from farmers' entomological understanding and relationships to crops. Linkages to valuation processes (values) linked to the NCP categories provides an improved framework for local knowledge analysis adapted to address the challenges of insect decline and development of innovative insect managing practices. Thus, our study presents an application of assessing NCPs and associated values that influence decisions. The study shows that this is useful to support innovation in agricultural management for insect and biodiversity conservation as well as sustainable food production, especially in less studied smallholder contexts.

KEYWORDS

Nature contributions to people – smallholders – entomofauna – insects – multiple values

4.1. Introduction

Assessment of Human-Nature relationships in social-ecological systems presents a complex challenge due to the diversity and incommensurability associated with these interactions (Chan et al 2016, 2018; IPBES 2019). In agricultural contexts, there is a long-term trend towards a decline in biodiversity across cultivated and non-cultivated species (Gibbs et al 2009, Mendenhall et al 2014), including plants (Outhwaite et al 2022, Molina et al 2022), mammals (Brode et al 2021), birds (Donald et al 2001, Rigal et al 2023) and insects (Potts et al 2010, Outhwaite et al 2022), alongside a decrease in local knowledge and associated traditional agricultural practices (Holt-Giménez & Altieri, 2013, Aswani et al 2018, Brondízio et al 2021). This is especially relevant in contexts marked by instability and inequalities, particularly in rural areas of low-income countries managed by smallholder farmers (SHF), where effective governance structures are often lacking (Lima & De Jesus 2017, Svampa 2021). Smallholders' work, knowledge and assets embracing highly diverse assemblages of plant and animal (and their interactions), as well as their land utilization, are frequently overlooked by scientific research in agronomy, economy, and ecology, which tend to focus on technical aspects of outcomes and inadequate management programs.

In this study, we focus on insects as integral components of a "natural" dimension in agrosystems. Unlike less anthropized ecosystems, where organisms exist in relatively undisturbed environments, insects in agroecosystems have evolved in close proximity with human activity. Thus, distinguishing features of these systems lie in their strong anthropization,

where human-nature interactions play a fundamental role in shaping the dynamics of plant and organism selection. While the concept of "nature" may require reevaluation, particularly within agroecosystems, we retain it here due to its relevance in understanding the complex interplay between humans and their environment. Insects are involved in numerous direct and indirect contributions to people, including the provision of food through crop pollination, support for agricultural productivity and food security, and cultural and spiritual significance associated with their presence (Miller 1993, IPBES 2016). Beyond tangible benefits, insects also provide non-material contributions such as aesthetic and recreational value, enriching our lives in various ways (Lyver 2014). In addition to their contributions to human well-being, insects play a crucial role in maintaining biodiversity and ecosystem functioning (IPBES 2016). They contribute to the regulation of ecosystem services, including pest control and nutrient cycling, which are essential for ecosystem resilience and sustainability (Elizalde 32020). Taking a multi-biocultural perspective, we may say that insects hold diverse relational values and roles across different knowledge systems, including scientific, Indigenous, and local perspectives (Tengo et al 2014, Hill et al 2020).

The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) highlights the importance of a comprehensive framework that integrates ecological, social, and cultural values when evaluating the contributions of biodiversity to local livelihoods (IPBES 2019, Díaz et al., 2015). IPBES has enabled to picture relationships and flows between natural and anthropogenic components, highlighting the deep connection between humans and biodiversity based on multiple values that contribute to human well-being (instrumental value), as an end in itself (intrinsic value), and as a mediator of meaningful human-nature and social relationships (relational value; Pascual et al. 2015, Christie et al. 2019). In addition to scientific knowledge, IPBES has embraced the importance of Indigenous and local knowledge (ILK) as a significant input in its evaluations. ILK systems, which exist at the interface of diverse ecosystems and livelihood systems (e.g., farmers, fishers, beekeepers, pastoralists, hunter-gatherers), are characterized by their high diversity and dynamism, as well as a holistic integrated approach (Breslow et al 2016, Lopez et al 2014, Tengö et al 2017, Dean et al 2021). This holistic approach is essential for understanding the multifunctionality of agricultural and other social-ecological systems and ensuring their sustainable management (Holt-Giménez & Altieri, 2013, Bruley et al 2021).

The aim of this study was to explore the multifaceted contributions of insects, particularly pollinators, to smallholder agroecosystems, using ethnobiological data from fieldwork to elucidate their significance for sustainable management practices. Despite the urgent need to integrate stakeholder perspectives and the potential of the IPBES CP, the NCP lens has never been

used to evaluate farmers' relations to agriculture-related entomofauna nor has it been applied to assess impacts of types of crop management on nature's contributions derived from agricultural-related organisms. We stress the need to provide insights into the functions and perceptions of insects among farmers from SHF to increase the representativeness of case studies from this type of system. By integrating diverse perspectives and considering both tangible and intangible values, we aim to contribute to the development of holistic approaches that promote biodiversity conservation and enhance human well-being in agricultural landscapes, particularly smallholders.

4.2. Material and methods

Study sites

The study took place in four villages located within the Cotopaxi province, situated in the central highlands of Ecuador. The study sites were situated in high-altitude vegetation zones (ranging from 2893 to 3598 masl) characterized by sparsely populated settlements scattered across semi-natural vegetation patches and remnants of Andean woodlands or planted forests, with highly important crop production contributing significantly to the country's food security. The agricultural landscape typically comprises a mosaic of smallholder agricultural fields (less than 2 hectares in size, FAO 2014, Berdegué & Fuentealba, 2011), alongside some larger fields that have been gradually expanding in particular to grow export crops (broccoli and flowers). Agriculture in this area primarily involves cultivating both permanent and seasonal crops such as pastures, potatoes, native maize, local tuber and bean varieties, quinoa, Andean lupin, and vegetables. The majority of these crops are cultivated for household consumption and sale in nearby markets. The study region is predominantly rural and demographically characterized by low-income farmers, Kichwa indigenous communities and mestizo populations. Farmers in rural areas often engage in other off-farm occupations. Male farmers often migrate to urban centers for work in low-skilled and precarious positions.

Data collection

Ethnobiological data was acquired through a participatory process involving participant observation, freelist protocol (Quinlan, 2005; Quinlan, 2017), directive and semi-directive surveys focusing on insect functions and farmers' perceptions of their presence in the fields. Data collection was carried out throughout the lupin crop cycle between March 2022 and January 2023. This research was authorized by the ethics committee of PUCE University in Ecuador (CEI-50-2021). Farming characterization, derived from surveys and collaborative workshops with farmers, allowed the definition of two groups, resulting in a simplified classification into organic and conventional farming. This classification was considered appropriate for reflecting the real

differences between farming practices. The distinction between the two farming groups was primarily based on the use of chemical inputs, specifically pesticides for insect and fungal control in the local crops, as opposed to the use of organic preparations derived from plants or mechanical/manual techniques.

Following a free listing exercise, further data collection through structured interviews provided detailed information of farmers' feelings and perceptions towards each insect taxa, related local names, functions, behavior and environmental information encompassing aspects such as insect habitat preference, density and historical presence (Busse et al., 2021; Pimbert, 2017; Šūmane et al., 2018). Survey data was supplemented by information from field notes gathered throughout the agricultural cycle of the studied lupin crop, during local meetings (neighbors, associations or institutions operating in the area), poarticipant observation and exchanges about insects between farmers in their daily farming activities.

Data Analysis

We adopted the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) framework for a wider understanding of farmers-insects relationships. We first conducted surveys with open-ended and optional questions to evaluate their perception and awareness of insects. Subsequently, semi-structured interviews were conducted on the role of selected ethnotaxa, emphasizing its significance in terms of both beneficial and detrimental interactions within the agrosystems. Following the IPBES framework, reported answers were coded using a deductive approach to get classified among positive and/or negative values and assigned to instrumental (nature as a means to human well-being), intrinsic (nature as an end in itself) and relational values (meaningfulness of human-nature relationships and social relationships mediated through nature).

Local values and linkages to Nature Contributions to people

We analyzed data using a deductive approach classifying the collected data into categories of regulation, material, and non-material contributions, following the IPBES Conceptual Framework (Christie et al., 2019; Díaz et al., 2015; Kadykalo et al., 2019; Pascual, Balvanera, Díaz, Pataki, Roth, Stenseke, Watson, Dessane, et al., 2017). We employed discourse analysis from interviews, collective meetings, participatory workshops, participant observation in local farming activities and field notes registered from dialogues among participants during agricultural labors. We classified pieces of discourse following values that they represent and how they link to NCP categories.

We listed the totality of valuations/ values, and classified them according to large IPBES value (Pascual et al 2017) types. Subsequently, based on scientific knowledge of insect-plant- and people's interactions, we regrouped them within NCP categories (Suplementary Material 1, Table S.1). Visualization of categories was shaped into ternary plots to serve as a visual representation of proportions between the three categories by positioning a point according to its coordinates on each of the three axes, utilizing barycentric coordinates. Scores for each category represent the proportion of responses or support for each insect taxa within the respective Nature's Contributions to People (NCPs) category. For example, in the case of material contributions, the percentages indicate the proportion of respondents who associated each species with providing material benefits. Similarly, for non-material and regulating contributions, the percentages represent the proportion of respondents attributing each species to the respective NCPs category. These percentages offer insights into the relative importance or perceived contributions of each species within each NCP category based on the responses obtained from farmers.

Calculation of cultural index for NCPs

We evaluated reported NCPs by farmers analyzing data from ethno-entomological surveys to deepen our understanding of the values they attributed to agricultural-related insects. We aimed to provide insights into farmers' attitudes towards insects, revealing a spectrum of values beyond economic considerations. We categorized the reported benefits or damages associated with insect ethnospecies (i.e. organisms categories as recognised and classified by a specific cultural group, based on traditional knowledge and local perceptions rather than scientific taxonomy; Albuquerque et al., 2014; Costa-Neto, 2000). For each of the three crop management strategies based on groups of IPBES values domains: intrinsic, instrumental and relational. We then calculated a cultural value index, *CVi* (IPBES 2017; Reyes-García et al., 2006; Tamburini et al., 2021) as follows:

$$\boldsymbol{CV_i = U_{ci} \cdot I_{ci} \cdot \sum \quad IU_{ci}}$$

U_{Ci} represents the total number of NCP categories reported for ethnospecies *i*, divided by the total potential NCP categories found in the study; I_{Ci} stands for the ratio of the number of farmers mentioning ethnospecies *i* to the total number of farmers; IU_{ci} is the frequency with which a farmer cited NCP categories related to ethnospecies *i*, divided by the total number of farmers.

4.3. Results

Our results showed that the farmers interviewed exhibited varying levels of knowledge and perceptions regarding the identity of insects and their interactions with plants and other organisms (e.g., insects, domestic animals, or humans). Some farmers had an understanding of insects, viewing them primarily as beneficial or harmful entities providing essential services or disservices to humans, with little further insight. For instance, even when a farmer mentioned the 'pollination' function of bees or other pollinator taxa, another set of data about the role of pollination did not necessarily indicate a clear understanding of what pollination involves or its importance for plants. Similarly, respondents consistently described certain insects as "*flying around plants*'' or "*sucking flowers*," but did not connect these actions to any effects on their crops or plant reproduction. Nevertheless, they recognized the importance of these insects for "nature itself" and valued their presence in the environment for this reason. Noteworthy, while the presence of ladybugs (*Coccinellidae)* was associated by some farmers with the functions of pest control or as a good bioindicator, for others, their co-occurrence with pests was rather interpreted as an indication that they were attracting or fostering pests. A conventional farmer reported: "*I see ladybugs when there are plenty of aphids on the plants, they seem to attract them to the fields"*. Note that a few ethnospecies (e.g. bees, Coleoptera larvae) may be related to both beneficial and detrimental perceptions (e.g., bees can either pollinate and have a fearful sting or some herbivorous beetles could have positive aesthetic values).

Overall, we registered 497 insect contributions across the three type of values (Suplementary Material 1, Table S.2). From the categorized values within the IPBES types (Figure 1), the instrumental domain showed a higher percentage of responses for the farmers in the organic farming group (14.85%) compared to organic farmers (11.34%). However, within these values, conventional farmers seemed to prioritize the practical contributions of honey bees and other pollinator taxa, as the main reported values were associated with the 'livelihood subsistence' category (i.e., providing food, 63.64% of answers). Interestingly, both groups showed a similar emphasis on relational values, although differing in symbolic and myth-related values. Intrinsic values were less frequently mentioned by farmers, with a focus on cognitive development and non-anthropogenic ecological values.

Overall, farmers reported 243 Nature's Contributions to People (NCPs) across 10 categories, representing a subset of the 18 IPBES NCP categories. We identified positive and detrimental contributions among functions attributed to insects, for material (42 negative and 24 positive), non-material (18 negative, 40 positive, and 1 neutral) and regulating (2 negative and 73

positive) NCPs. In total, 17 taxa were evaluated for both their benefits (11 categories listed) and negative contributions (four categories listed) in studied agroecosystems (Table 1).

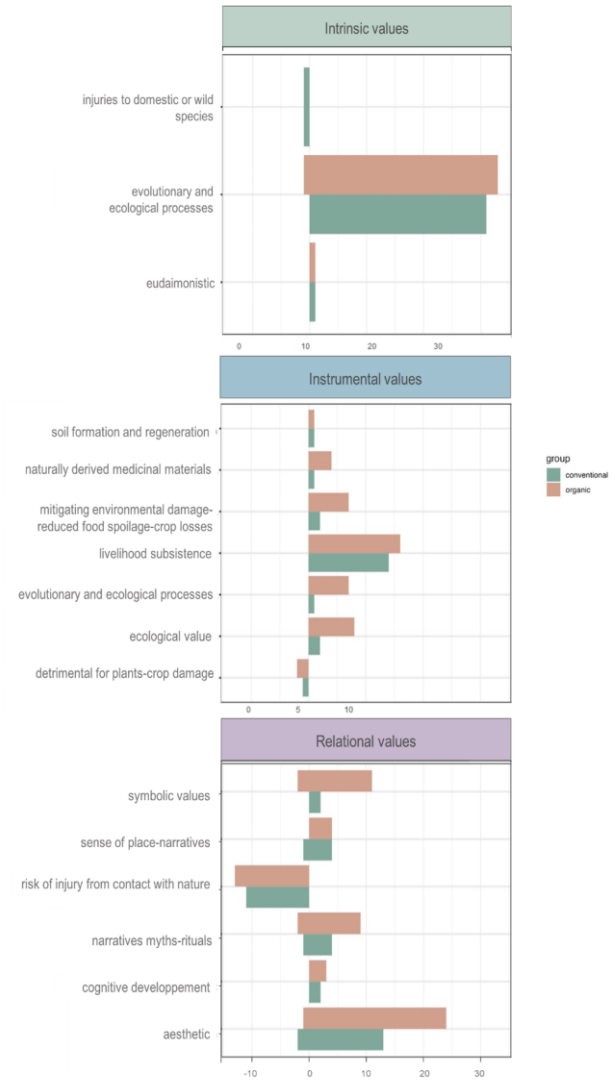


Figure 1 *- Values assigned by farmers to crop-related insects, classified into three categories: intrinsic, instrumental, and relational values. Values within each category can be either positive or negative.*

After categorizing data from field surveys and observations, we found that among the identified agricultural entomofauna, 15 taxa were valued for material contributions (principally for food and feed category, mostly by honeybees) as well than for regulating contributions (mainly for pollination and pest-related categories) and 13 taxa were considered for non-material contributions (Suplementary Material 1, Table S.3). It is noteworthy that some taxa could be associated with both beneficial and detrimental categories while others were considered neutral indicating no specific benefits or harms. Farmers recognized the presence of these ethnotaxa around fields as being important in the area but did not associate any function or particular achievement in the agroecosystems (46 mentions for 17 taxa).

Table 1 *Nature Contributions to People (NCPs) related to agricultural entomofauna in a subset of categories of contributions among the 18 categories of IPBES NCPs*

	NATURE CONTRIBUTIONS TO PEOPLE	Related orders
MATERIAL	 Food and feed	Hymenoptera, Coleoptera
	 Medicinal, biochemical and genetic resources	Hymenoptera
	 Crop damage	Lepidoptera, Diptera, Coleoptera
NON-MATERIAL	 Learning and inspiration	Hymenoptera
	 Maintenance of options	Lepidoptera, Hymenoptera
	 Physical and psychological experiences	Hymenoptera, Coleoptera, Lepidoptera
	 Supporting identities	Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera
	 Bad superstitious matters	Lepidoptera Coleoptera
	 Hazard to persons and/or domestic animals	Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera
	 Displeasure /aversion	Diptera, Lepidoptera
REGULATING	 Habitat creation and maintenance	Coleoptera, Diptera
	 Pollination and dispersal of seeds and other propagules	Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera

The quantitative representation of insects' NCPs in a ternary diagram showed that the overall distribution across categories emphasized material and regulating contributions (accounting for 70% of reported NCPs), while non-material contributions received less attention (Figure 2). This distribution suggests a wide-ranging recognition of the multiple roles of insects in agroecosystems. Some taxa such as *Agrotis* (*Lepidoptera*), *Anthomyiidae* and *Delia* (*Diptera*) were most frequently associated with providing negative material contributions (i.e., damaging crops), distinctly in their larval stage. This was reflected by their segregated distribution towards the lower left-axis, meaning a consensus among farmers regarding their negative impact on crops when considered as pests. Non-material contributions were predominantly attributed to moths

and butterflies, as well as to certain beetles. Regulating contributions were notably linked with Tachinidae (Diptera), Coccinellidae (Coleoptera) and non-insect taxa such as hummingbirds and spiders. These taxa were more frequently perceived as playing significant roles in regulating ecosystem processes such as pollination and pest control. Concerning honeybees, aside from pollination, farmers reported contributions for diverse hive products (honey, pollen, wax), but bees were also considered important for contributions to medicine, household health, quality nutrition, and cultural identity (Table 1).

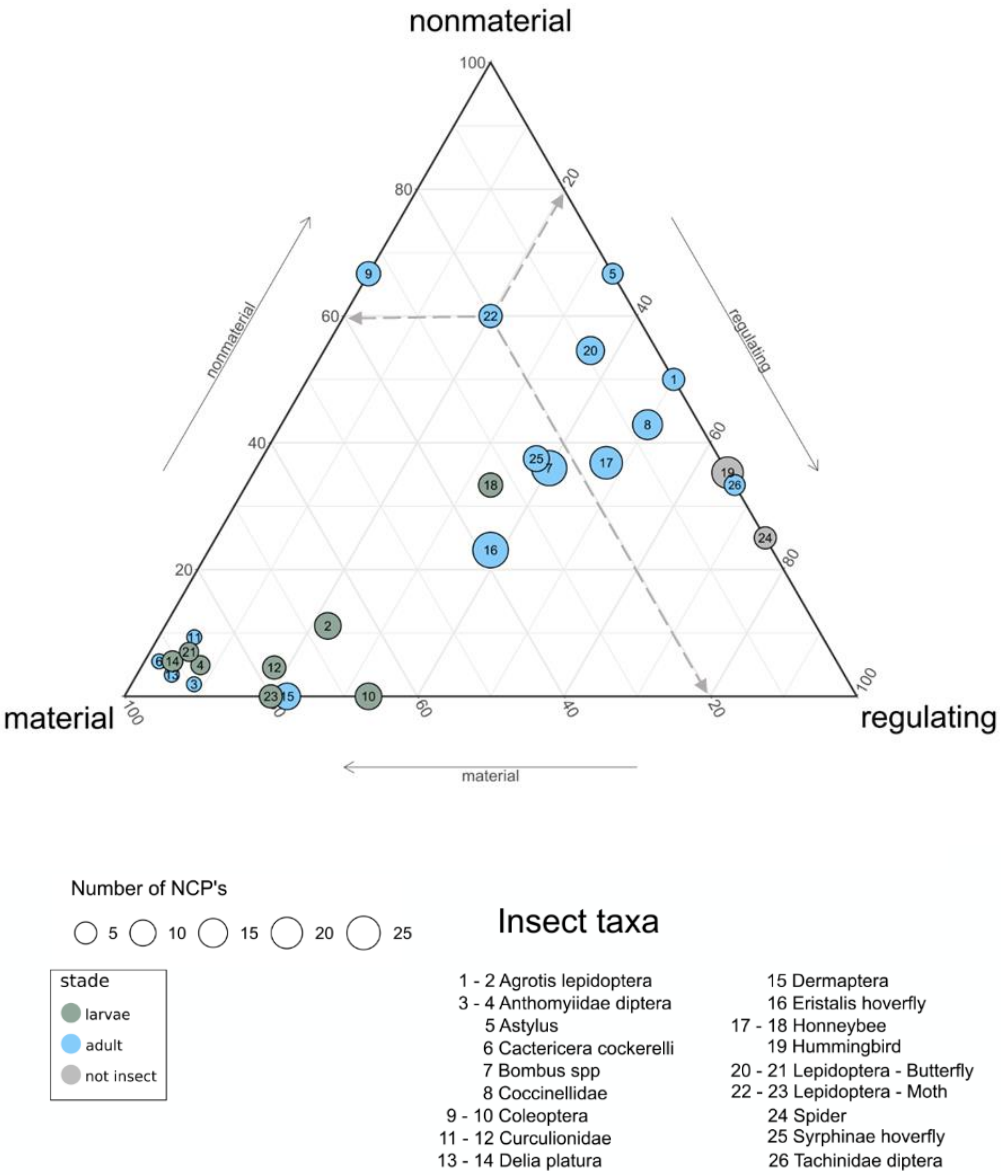


Figure 2 *-Assessment of NCP categories by insect taxa reported by farmers. . Each point on the ternary plot represents the percentage of support for each NCP category for an insect taxon by the location of the point on the three-way graph axes. The axes correspond to the three NCP categories: material, non-material, and regulating. The ternary plot illustrates the distribution of values across three axes, in a clockwise direction. Each vertex represents 100% of one component and 0% of the others.*

Assessment of NCP categories by farming type

Our findings revealed significant differences between the two farming groups, with those in the 'organic' group citing more NCPs than those in the 'conventional' group (136 and 109, respectively) (Figure 3). For the 'conventional' group, insect contributions were mostly related to regulating and material NCPs due to the high attention given to bees' functions for pollination and honey production, whereas for the organic farmers group, NCPs were more weighted between the three categories even showing a greater weighting for non-material NCPs for some taxa. Indeed, farmers from this group appear to demonstrate a higher level of interest in NCPs relating to intrinsic and aesthetic values, whereas farmers from the conventional group were more interested in NCPs concerning instrumental values (Figure 3, Suplementary Material 1, Table S.4). This reveals a gradient of preferences, showing a gradual differentiation between the two farmer groups driven by cultural and symbolic values. Our analysis also highlighted the distinction between NCPs associated with taxa: for organic farmers, they encompassed a broad range of agricultural and social functions (i.e., pollination, pest control and other benefits for crops as well as aesthetics), while conventional farmers' NCPs focused on producing honey and pollinating crops.

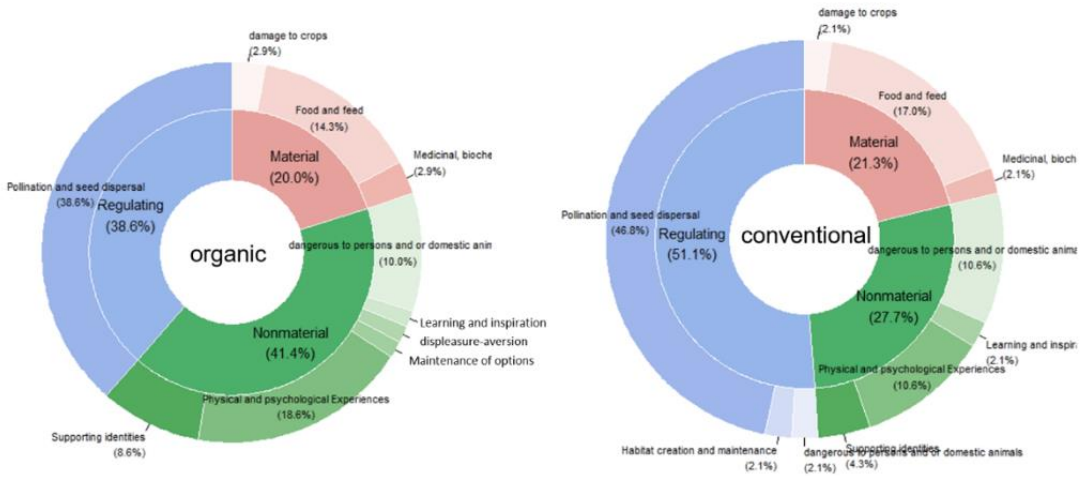


Figure 3 *– Differently reported insect-related Nature Contributions to People by organic and conventional farmers*

Cultural Value Index

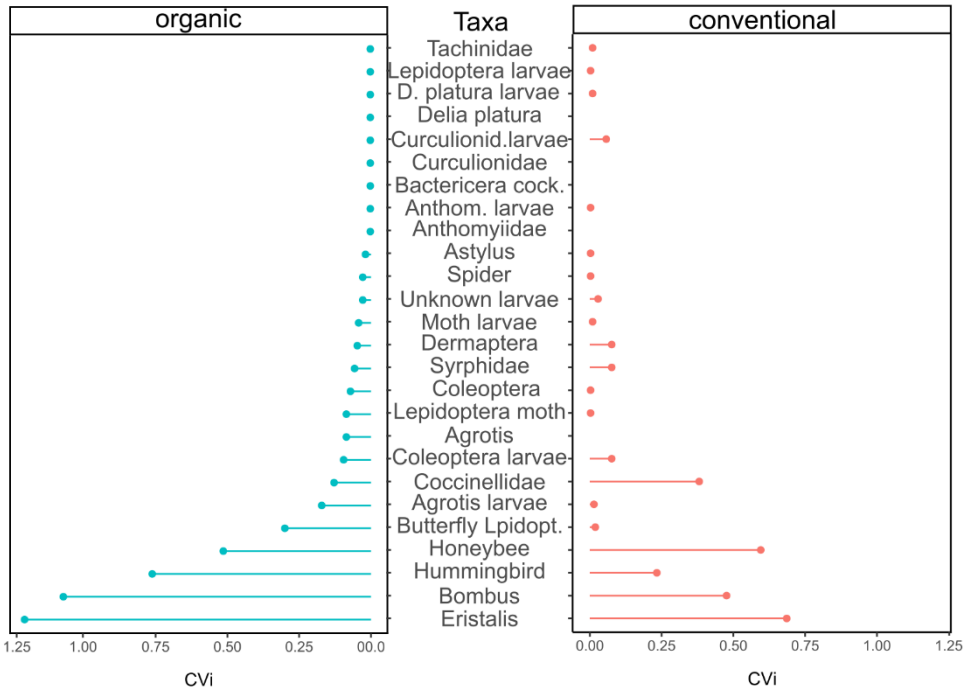


Figure 4 *- Cultural Value index (CVi) of insect taxa evaluated by organic and conventional farmers*

Cultural index values varied depending on the type and number of NCP categories assigned by each group of farmers. Mean *CVi* was 2.33, 1.57 and 1.11 for material, non-material and regulating NCPs, respectively, while detrimental contributions showed lower index values (mean = 0.75). Insect taxa showing the highest scores were primarily those commonly recognized as pollinators *Eristalis* (5.57), *Bombus* (4.58) and *A. mellifera* (2.98), revealing a high cultural significance of this guild for farmers (Figure 4). Our findings showed that both farmer groups valued pollinators equally for their role in providing food, medicinal resources, and improving crop yields, although there was a divergence in how they perceived the positive and negative contributions in non-material categories: organic farmers placed greater emphasis on these species due to their significance as social and symbolic connections, as well as their potential hazardousness. Similarly, Lepidoptera and Diptera larvae were highly regarded for their negative impact on crop damage rather than for any positive contributions. Finally, aside from interest in their aesthetics, certain pollinators were also appreciated for their potential for sustaining future quality of life and upholding local livelihoods.

4.4. Discussion

Our study aimed to assess categories of Nature's Contributions to People (NCPs) of agricultural entomofauna identified by smallholder farming systems, in order to provide field-based insights into the complex dynamics of human-insect relationships and their valuations. We

found that valuations of insect contributions varied significantly depending on the taxa's identity, developmental stage, and field abundance in the study area. Our assessment revealed different understandings of insect roles, with many farmers assigning values based on functional contributions and symbolic associations, that vary depending on whether they were organic or conventional farmers. Our results enabled us to identify both the benefits and trade-offs of insect management, particularly concerning pollinator management strategies such as habitat setting, managed bee populations, and reduced pesticide use.

Accounting for multiple values in farmers-insects relationships

Understanding the importance of nature, ecosystems, interactions or ES for people involves dealing with multiple, and often conflicting, valuation languages (Melathopoulos et al., 2015; Senapathi et al., 2015). Plural values, representing different ways of engagement with nature, should be integrated in ES assessments to provide guidelines for evaluating management decisions concerning insects, particularly pollinators, in face of their decline(Arias-Arévalo et al., 2018; Ellis et al., 2019). This question remains challenging in agricultural assessments due to the need for assumptions about their non-monetary values and difficulty in assessing non-material services. (Breeze et al., 2016).

However, these positive aspects are counterbalanced by the complex relationships between farmers and pollinators, such as bee stings or fears stemming from myths and beliefs, which may discourage the development of pollinator management on farms, as reported by farmers in our surveys. Thus, certain farmers would be more inclined to set habitats or implement other types of actions to favor larger insect communities, since a greater diversity of values are associated with more (ethno)taxa in smallholder landscapes.

Reporting diversity of insects NCPs related to SHF contexts

Our study supports the influence of farmer's capacity to identify insects and perception of their functions as closely linked to their cultural importance and ease of observation which is consistent with previous research in agricultural ethnoecology (Bentley 1992, 2001). This study highlights the importance of cultural and ecological factors in shaping human perceptions of biodiversity and NCPs (Berkes, 2018; Reyes-García et al., 2016). In some cases, insects with similar ecological roles may be assessed based on characteristics such as size, coloration, and feeding behavior (Tamburini et al 2021, Lopez Patino et al 2022). Along a gradient influenced by ecological visibility, certain culturally important but hard-to-observe insects are well understood, while culturally insignificant and hard-to-observe insects (e.g., smaller or nocturnal insects) are poorly understood and often evaluated only for single or negative contributions (Van Hok 1996,

Barua et al 2012). For instance, the visually confusing species of *Eristalis* (Syrphidae, Diptera) that are commonly substituted for honeybees (*Apis mellifera*) may reflect local categorizations that assemble nature "objects" through some of their functions (e.g., fear of being stung) that can lead to mismanagement of insects in crop fields (Kremen et al., 2007, Bower et al 2023). Nevertheless, in our study, NCPs were primarily associated with a broader category of pollinators, with certain taxa like bees and butterflies being assigned multiple NCPs, including food provision, medicinal uses, and symbolic significance. Thus, our findings revealed that certain insect taxa may be perceived more for their functions (e.g., pests) rather than being recognized distinctly based on their biological classification. It highlights the importance of comprehending insects' functional roles within agroecosystems and prioritizing farmers' knowledge and values over taxonomic distinctions (Kelemen et al 2013, Jacobs et al 2016).

Our results revealed that Apidae pollinators were valued not only for their role in enhancing crop pollination but also for their cultural significance and aesthetic appeal. Conversely, other taxa, particularly Diptera species such as *Delia platura* and *Anthomyiidae*, or herbivorous larvae of Lepidoptera, were predominantly associated with negative contributions due to their perceived damage to crops. In this sense, the position along the regulating axis of many taxa in their larvae stage (Fig. 1) reflects a greater value attached by farmers to maintaining a balance between productivity and diversity in the fields (Altieri, 1993; Gillespie & Wratten, 2017; Morales & Perfecto, 2000). This might also reflect farmers' perceptions of certain insects encompassing utilitarian considerations less than cultural values (Brito et al., 2020; Busse et al., 2021; Christie et al., 2019b). In contrast, insects that are believed to enhance ecosystem processes, such as pollination, soil fertility, and pest regulation, are valued not only for their direct material benefits but also for their role in supporting agricultural productivity and ecological conditions in the surrounding landscape (Bruley et al., 2021; Vanbergen et al., 2020; Wyckhuys et al., 2020). Additionally, the aesthetic value of insects and their contribution to the cultural landscape are factors that influence farmers' attitudes and behaviors towards insect conservation and management (Busse et al., 2021; Lemelin et al., 2016; Tarakini et al., 2020). An illustrative case of the importance of identifying and strengthening links between insect knowledge and management may concern the most commonly found pollinators (*Bombus*, *Apis mellifera* and two Syprhidae taxa). Their central position in the ternary plot (Fig. 2) indicates a balanced distribution across the three NCP categories, as these species are perceived to contribute simultaneously to multiple agricultural functions. They are also valued for supporting rural livelihoods through cultural and non-instrumental values (Garibaldi et al., 2017; Hill et al., 2019; Lemelin et al., 2016; Scholte et al., 2015). This central positioning also suggests that farmers may have different perceptions of the values of these insects, i.e. either positive or negative contributions depending

on their stage of development (larva or adult) or as a result of the human-insect relationships (e.g. feelings of fear or rejection; Busse et al., 2021; Cooper et al., 2016; O'Connor & Kenter, 2019; Pramova et al., 2022). The high value attributed to bees and bee-like insects could be due to the widespread understanding and visibility of their role in pollination and honey production, which are often connected with cultural practices and aesthetic appreciation (Hill et al., 2019; IPBES, 2016; Irvine et al., 2016). Finally, based on our results, we put forward the idea that aesthetic and spiritual values of nature might encourage farmers to feel a moral responsibility *vis à vis* certain insects beyond the direct benefits they receive, as found also in other studies (Cooper et al., 2016; Dunn-Capper et al., 2023; Himes et al., 2024; Knapp et al., 2021). These values challenge economic perspectives on ecosystems and their values, including their proper existence (Himes et al., 2024, 2024; O'Connor & Kenter, 2019).

How farmers' values of entomofauna relate to NCP categories

Our study highlights the specificity of insects in agriculture, as farmers value insect species based on aspects such as direct satisfaction of material needs, hedonic aspects (pleasure from hearing or seeing the beauty of animals), or the benefits or harms to crops or animals, and also because they improve some ecosystem processes (Busse et al., 2021; Gurung, 2003; Tamburini et al., 2021; Tripathi et al., 2024; Wyckhuys et al., 2020). We found that organic farming practices may foster a deeper appreciation of the ecological and cultural value of insects, leading to more positive perceptions overall. Conversely, conventional farming practices, involving the use of pesticides, appeared to lead to a more utilitarian view of insects, focusing primarily on their negative material contributions and potential threats to crop production. Farmers' views on biodiversity are deeply embedded into their daily lives and closely linked to their farming practices (Altieri, 2002; Altieri et al., 2012; Morales & Perfecto, 2000; Rodríguez-Bustos et al., 2023). Several factors may contribute to the differences in perceptions, knowledge and values between conventional and organic farmers, including cultural norms, personal beliefs, and exposure to educational initiatives or government policies (Kelemen et al., 2013; Martin-Clouaire, 2018; Osterman et al., 2021). Furthermore, in times of economic hardship, for example, farmers may prioritize the material benefits derived from insect species (e.g., beehive products) to meet their immediate needs and sustain their livelihoods. Although material needs, such as honey production and food, are essential aspects of insect valuation, non-utilitarian variables may also play an important role in shaping local perceptions and attitudes towards insects (Tarakini et al 2020, Buse et al 2021, Hall et al 2020).

Insect management and pollinator-friendly practices towards sustainable agriculture

The significant cultural importance attributed to taxa commonly recognized as pollinators (*Eristalis*, *Bombus* and *A. mellifera*), resulting from a higher CV_i value for these taxa, reflects different aspects of their non-material and regulating contributions, depending on how farmers perceive the importance of these contributions (i.e. valuing processes; Arias-Arévalo et al., 2018; Himes et al., 2024; Kelemen et al., 2013). For example, butterflies were rarely considered explicitly for pollination but were frequently mentioned for 'flying around flowers,' and suggesting that they enhance the ecological value of habitats and landscapes. Cultural value may thus reflect the complex importance of certain insects for agriculture, as well as their conspicuousness from everyday interactions, taking into account social, practical, and economic aspects (Reyes-García et al., 2006; Rodríguez-Bustos et al., 2023). Pollinators have also been strongly associated with relational values that enhance the overall well-being of farmers through their aesthetic and symbolic contributions (Cooper et al., 2016; Hill et al., 2019; Osterman et al., 2021; Scholte et al., 2015). For example, bumblebees and butterflies were also valued for their beauty and the positive emotions they evoke. Farmers often mentioned them as an important part of local livelihoods, traditional landscapes, and collective memories of the past. The interconnectedness of pollinators with social and cultural values could help to strengthen their representative role in environmental policies focused on biodiversity, natural connectivity, and environmental resilience (Hill et al., 2019; Knapp et al., 2021; Osterman et al., 2021). This holistic perspective suggests that pollinators, and bees as flagship species, could be crucial in implementing policies to reduce pesticide use and further promote agroecological transitions, while increasing public engagement for pollinators (Gibbs et al., 2009; Hall & Steiner, 2019; Molina & Vazquez Pugliese, 2022; Tarakini et al., 2020).

Implications for agroecological transition

Our assessment of the ease of implementing or changing management practices to benefit pollinators allowed us to focus on the articulation and trade-offs of NCPs in local agrosystems (i.e. the material and non-material values). Farmers' intentions and behaviors in abandoning harmful practices and adopting (or maintaining) pollinator-friendly practices were more willing among organic farmers and may be related to their knowledge and value systems. Organic farmers prioritize concerns and attitudes about pollinator well-being (e.g. maintaining non-crop habitats and floral resources outside fields), whereas conventional farmers rely primarily on information about pesticides from local dealers and only consider organic methods when their current pest management approaches are ineffective due to cost or health concerns (Diemer et al., 2020; Struelens et al., 2022). Conventional farmers perceived few or no alternatives for enhancing

pollinator populations, highlighting the challenges of reaching a consensus between neighboring farmers on adjacent fields (Diemer et al., 2020; Faichnie et al., 2021) and the potential to exploit external factors that can create more favorable conditions for change (Donkersley et al., 2022; Farmar-Bowers & Lane, 2009). These findings may also reflect opportunities to correct farmers' perceptions of landscape-level management actions, highlighting the importance of adapted collaborations and scientific/technical support to promote pollinator-friendly practices in different farming systems (Bruley et al., 2021; Hill et al., 2019; Hipólito et al., 2016; Osterman et al., 2021).

4.5. Conclusion

Overall, our findings highlight the influence of farming practices and cultural values on human-insect interactions, and emphasize that promoting diversified farming systems and integrated pest and pollinator management (IPPM) can provide habitat and forage resources for pollinators while enhancing positive NCPs (eg. crop productivity) and mitigating negative or detrimental effects (e.g., biodiversity loss, crop damage) (Bommarco et al., 2014; Tscharntke et al., 2012).

By recognizing the cultural values and knowledge systems of different farming systems, policy makers can develop more effective and contextually relevant interventions to promote sustainable agricultural practices and biodiversity conservation (Farmar-Bowers & Lane, 2009; Hall & Steiner, 2019). Our study case contributes to the understanding of human-nature relationships through insects in agricultural systems, a relatively understudied area. Farmers' interest and willingness to adopt alternative management actions suggest the potential for collaborative initiatives to bridge gaps either in both local and scientific knowledge (Barth et al., 2023; Bruley et al., 2021; Christmann et al., 2017; Diemer et al., 2020), while integrating socio-cultural, ecological, and economic perspectives in the design of sustainable farming practices and biodiversity conservation efforts (Altieri, 2004; Altieri et al., 2012; Osterman et al., 2021; Šūmane et al., 2018).

Acknowledgements

We gratefully acknowledge all the farmers from the Cotopaxi region who generously shared their knowledge and experiences. We sincerely thank them, for their time, willingness, and engagement in answering surveys, participating in workshops, and pursuing discussions about insects in daily activities. We thank local partners for their logistical support and assistance in conducting fieldwork. TC's PhD was supported by a grant from the ARTS program by the French National Research Institute for Development (IRD, 2021-2024). This research was part of the project Agroecological management of insects for sustainable goals among farmers by CCRP Collaborative Crop Research Program funded by the McKnight Foundation (grant number 19-309).

4.6. Matériel Supplémentaire Chapitre 4

Supplementary Material 1 - Multivaluation of entomofauna and NCPs

Table S.1 Categories of Nature Contributions to People from the IPBES framework

NCP_category	NCP	IPBES definition
regulating	Habitat creation and maintenance	The formation and continued production of ecological conditions necessary or favorable for living beings important to people
	Pollination and seed dispersal	Animal facilitation of pollen movement and seed dispersal of beneficial organisms
	Regulation of air quality	Filtration, fixation, degradation or storage of pollutants and gasses
	Regulation of climate	Emission and sequestration of greenhouse gases, biogenic volatile organic compounds, and aerosols; biophysical feedbacks (e.g., albedo, evapotranspiration)
	Regulation of ocean acidification	Regulation by photosynthetic organisms on land and sea of atmospheric CO2 concentrations and thus seawater pH
	Regulation of freshwater quantity	Regulation of the quantity, location, and timing of the flow of surface and groundwater
	Regulation of freshwater quality and coastal water quality	Ecosystem filtration and addition of particles, pathogens, excess nutrients, and other chemicals
	Formation and protection of soils	Soil formation and long-term maintenance of soil fertility, including sediment retention and degradation or storage of pollutants
	Regulation of hazards and extreme events	Amelioration of the impacts of hazards; reduction of size or frequency of hazards
	Regulation of detrimental organisms	Regulation of pests, pathogens, predators, competitors, parasites, and potentially harmful organisms
Material	Energy	Biomass-based fuels such as biofuel crops, animal waste, and fuelwood
	Food and feed	Food and feed from wild, managed, or domesticated organisms from terrestrial, freshwater, and marine sources
	Materials and assistance	Cultivated or wild materials and direct use of living organisms for industrial, ornamental, company, transport, labor, and other uses
	Medicinal, biochemical and genetic resources	Naturally derived medicinal materials; genes and genetic information
Non material	Learning and inspiration	Capabilities developed through education, knowledge acquisition, and inspiration by nature for art and technological design
	Physical and psychological Experiences	Physically and psychologically beneficial activities, healing, relaxation, recreation, and aesthetic enjoyment based on contact with nature
	Supporting identities	The basis for religious, spiritual, and social cohesion; sense of place, purpose, belonging, or rootedness associated with the living world; narratives, myths, and rituals; satisfaction from a landscape, seascape, habitat, or species
	Maintenance of options	Capacity of nature to keep options open to support quality of life in the future

Table S.2 Insect values recorded from each group of farmers based on their perceptions

Domain	Associated value	conventional	organic
Instrumental		11,34	14,85
	ecological value	9,09	17,78
	evolutionary and ecological processes	4,55	15,56
	livelihood subsistence	63,64	35,56
	mitigating env damage-reduced food spoilage-crop losses	9,09	15,56
	naturally derived medicinal materials	4,55	8,89
	detrimental for plants-crop damage	4,55	4,44
	soil formation and regeneration	4,55	2,22
Iintrinsic		17,01	11,55
	eudaimonistic	3,03	2,86
	evolutionary and ecological processes	93,94	97,14
	injuries to domestic or wild species	3,03	0,00
Rrelational		21,65	23,43
	aesthetic	35,71	35,21
	cognitive developpement	4,76	5,63
	risk of injury from contact with nature	21,43	21,13
	symbolic values	9,52	18,31
	narratives myths rituals	15,49	16,67
	sense of place-narratives	5,63	11,90

Table S.3 Reported categories of NCPs related to agricultural entomofauna for insect taxa considered in this study

Taxa	Material	Nonmaterial	Regulating
Agrotis	6	3	4
Anthomyiidae	3	0	0
Astylus	0	2	1
Bactericera_cockerelli	1	0	0
Bombus	6	9	10
Coccinellidae	1	6	7
Coleoptera	8	4	3
Curculionidae	5	0	1
Delia_platura	4	0	0
Dermaptera	7	0	2
Eristalis	10	6	10
Honeybee	5	9	10
Hummingbird	0	6	11
Ichneumonidae	0	0	0
Caterpilar	2	0	0
Lepidoptera_butterfly	1	6	1
Lepidoptera_moth	5	3	2
Spider	0	1	3
Syrphidae	2	3	3
Tachinidae	0	1	2

Table S.4 Reported NCPs related to agricultural entomofauna for each group of farmers

NCP Category	NCP	organic	conventional
Material	Food and feed	10	8
Material	Medicinal, biochemical and genetic resources	2	1
Nonmaterial	Learning and inspiration	1	1
Nonmaterial	Physical and psychological Experiences	13	5
Nonmaterial	Supporting identities	6	2
Regulating	Habitat creation and maintenance	0	1
Material (-)	dangerous to persons and or domestic animals	7	6
Regulating	Pollination and seed dispersal	27	22
Material (-)	damage to crops	14	17
Nonmaterial (-)	displeasure-aversion	3	6
Nonmaterial	Maintenance of options	1	0

TROISIEME PARTIE

Dans la première phase de ce travail de thèse, on a identifié les taxons d'insectes importants pour les agriculteur·ice·s et avons cherché à comprendre les systèmes de savoir locaux. L'objectif était de mieux répondre à la problématique multidimensionnelle des pesticides par une approche permettant aux savoirs scientifiques et des agriculteur·ice·s de travailler ensemble vers une réponse basée sur la gestion des insectes. À partir de cette première collaboration, nous avons conçu, de manière participative, une démarche expérimentale sur le service de pollinisation, visant à intégrer les attentes des agriculteur·rice·s tout en recueillant et en analysant des données sur les impacts des pratiques agricoles sur le déclin des pollinisateurs et ses conséquences sur l'agriculture et les écosystèmes. Dans cette troisième partie, nous présenterons l'application d'une stratégie de gestion des insectes, en évaluant le rôle de la pollinisation dans le système de production du lupin andin.

A partir de nos premiers résultats, et des échanges avec les agriculteur·ice·s, nous avons approfondi les questions sur les fonctions attribuées aux insectes par les agriculteur·ice·s sur certaines des contributions qui étaient associées directement aux rendements. Nous y avons identifié ensemble les actions qu'ils et elles considéraient comme importantes pour la gestion de ces contibutions sur leurs parcelles, qu'il s'agisse d'atténuer la perte des insectes jugés bénéfiques ou de réduire la présence de ceux considérés nuisibles ou indésirables. Nous leur avons demandé de classer ces pratiques en fonction du niveau de difficulté lié à leur mise en œuvre (pour les pratiques non encore appliquées) ou de la difficulté à modifier ou adapter les pratiques existantes. Nous avons observé une différence notable pour les actions concernant les pollinisateurs entre les agriculteur·ice·s conventionnel·le·s et celles et ceux pratiquant des méthodes alternatives. Les agriculteur·ice·s conventionnel·le·s pouvaient montrer une réticence à intégrer la gestion des pollinisateurs en raison de leur confiance dans les méthodes de contrôle chimique et du fait qu'une augmentation des rendements par l'ajout d'insectes n'était pas une notion courante dans leur parcours. D'ature part, nous avons identifié leur intérêt pour la pollinisation par une volonté d'améliorer la qualité et la quantité des récoltes. Nous avons alors conjointement mené une expérimentation sur leurs parcelles, en réponse à leurs demandes, en ajoutant le service de pollinisation comme stratégie de gestion, en plus de celle des ravageurs.

CHAPITRE 5

5. ANALYSE DES DYNAMIQUES ECONOMIQUES ET SOCIO-ECOLOGIQUES ASSOCIEES A LA GESTION DES INSECTES DANS L'AGRICULTURE DES ANDES TROPICALES

Comme il a été abordé dans les chapitres précédents, l'entomofaune des agroécosystèmes génère à la fois des services et des disservices écosystémiques. Les disservices, tels que les dommages causés par les insectes nuisibles, peuvent réduire les rendements ou augmenter les coûts de production. Une approche systémique visant à renforcer la pollinisation pourrait potentiellement atténuer ces disservices, en offrant des compromis en termes de bénéfices à plusieurs échelles : rendements, coûts, avantages économiques et sociaux, et interactions entre ces facteurs. A partir des échanges et intérêts exprimés par les agriculteur·ice·s, il était donc important de réaliser une évaluation comparative de la manière dont une stratégie de gestion ciblée pourrait influencer les compromis et synergies entre la pollinisation et d'autres résultats, tels que les coûts et les avantages économiques.

Ce chapitre explore ces compromis (ou *tradeoffs*) dans la gestion intégrée des ravageurs et des pollinisateurs pour les systèmes agricoles SHF, en comparant les contributions écologiques, économiques et agronomiques de trois stratégies : conventionnelle (avec utilisation de pesticides), organique (pratiques agroécologiques, sans pesticides) et supplémentation en pollinisation (organique avec ajout de ruches d'abeilles domestiques*, Apis mellifera*, pendant la floraison).

Les résultats montrent que la pollinisation gérée a significativement augmenté la formation des gousses, mais n'a pas affecté la formation des graines ni le poids des graines de lupin. Exprimé en succès de fructification (podset), la stratégie de service de pollinisation a fourni jusqu'à +35% de gousses par rapport aux parcelles traitées avec pesticides et +16% de plus que celles en gestion agroécologique. Cela se traduit par une augmentation de l'indice de rendement allant jusqu'à 41 % pour les parcelles bénéficiant du service de pollinisation par rapport à celles traitées avec des pesticides. Cependant, les coûts supplémentaires liés à la location des ruches viennent contrebalancer les bénéfices nets. Pour améliorer la viabilité économique, des scénarios alternatifs ont été explorés, ensemble avec les agriculteur·ice·s, comme la location partagée des ruches ou une meilleure rémunération pour les produits issus des pratiques agricoles « *pollinator-friendly* » (une démarche similaire à un label).

Notre étude présente des résultats intéressants concernant la contribution des pollinisateurs pour les systèmes de production andins, car, bien qu'il s'agisse d'une culture autogame, nos résultats montrent que le lupin peut bénéficier d'un système de pollinisation généraliste, à un niveau modéré (sensu Klein et al 2007), avec une présence notable d'abeilles telles que Apis et Bombus. En retour, les fleurs de lupin jouent un rôle crucial dans le soutien des pollinisateurs, notamment des diptères et des hyménoptères, en leur fournissant des récompenses significatives en pollen et en exsudats végétaux dans ces environnements d'altitude

où les ressources peuvent être limitées, comme dans des paysages dominés par le maïs, les céréales et les pommes de terre.

Nos résultats suggèrent que les mécanismes sous-jacents à l'efficacité de la pollinisation pourraient également être influencés par la diversité fonctionnelle des insectes. Le lupin et d'autres plantes de la famille des Fabaceae sont principalement pollinisés par des espèces de grande taille et à langue longue, telles que *Bombus* et *Xylocopa*, en plus de *Apis mellifera*. Cependant, une dépendance accrue vis-à-vis des pollinisateurs généralistes pourrait devenir problématique si leurs populations continuent de décliner, en particulier dans les zones où les abeilles domestiques seraient plus dominantes. Il est donc essentiel d'élargir les stratégies pour protéger et renforcer la diversité des pollinisateurs afin d'assurer leur action sur la productivité agricole et la résilience des systèmes de culture plus diversifiés. Cela rejoint les intérêts des agriculteur·ice·s, notamment celles et ceux du groupe agroécologique, qui ont exprimé leur volonté de maintenir ou de créer des espaces avec des plantes non cultivées pour offrir des ressources aux pollinisateurs et autres insectes, tout en tenant compte de la diversité et du fonctionnement écologique à plus grande échelle (gestion de l'eau, du vent, etc.).

Avec cette évaluation expérimentale de la gestion de la pollinisation, nous avons cherché à développer une approche problem-based pour des stratégies pertinentes et applicables pour la gestion des insectes dans les paysages de SHF. En ce qui concerne les bénéfices économiques, on a constaté que la promotion de pratiques sans pesticides ou visant à réduire leur usage dépend non seulement de réponses techniques ou de connaissances agronomiques ponctuelles, mais aussi d'une volonté de fournir des ressources soutenant la formation des agriculteur·ice·s et le renforcement des dynamiques du marché pour les produits issus de pratiques favorables aux pollinisateurs. De même, la collaboration continue avec la recherche, la vulgarisation et les échanges avec d'autres acteurs concernés (apiculteur·ice·s, agents de vulgarisation, circuits de distribution locale, universités formant des spécialistes en agroécologie, etc.) est essentielle. Il est important d'adopter des politiques agricoles qui favorisent les méthodes agroécologiques plus largement, permettant ainsi la mise en place et le développement de systèmes de production durables au niveau du paysage et parmi les différents acteurs, en incluant les liens avec des modes de consommation et du système alimentaire qui permette d'assurer des produits accessibles tout en réduisant l'utilisation des pesticides et en soutenant des pratiques plus respectueuses des pollinisateurs.

Mots-clés

Pollinisation – Agricultrue de petite échelle - Gestion Intégrée Ravageurs Pollinisateurs - Pesticides

ECONOMIC AND SOCIO-ECOLOGICAL TRADEOFFS ASSOCIATED WITH INSECT MANAGEMENT IN ANDEAN SMALLHOLDERS

Cardenas Tatiana[1], Requier Fabrice [2], Dangles Olivier [1,3]

1 Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive, Univ Montpellier, CNRS, EPHE, IRD. Montpellier, France
2Université Paris-Saclay, CNRS, IRD, UMR Évolution, Génomes, Comportement et Écologie, Gif-sur-Yvette, France
2 Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador

Abstract

Declines in insect populations, particularly pollinators, require strategies to mitigate the negative impacts of agricultural practices, such as using chemical pesticides for pest control. Although considerable knowledge exists about trade-offs in insect (pest and pollinator) management in intensive and temperate farming systems, little is known about smallholder farming. This study investigates integrated pest and pollinator management in the highlands of Ecuador, through diverse outcomes of ecological, economic and agronomic contributions for smallholder farming systems. Through a collaborative experimental approach on an important local crop, the Andean lupin, three management strategies were compared: conventional, organic and pollinator supplementation. Pollinator supplementation significantly increased pod formation, but did not affect seed formation or weight of lupin seeds. The pollination effect appeared to contribute to yield increases up to 41%, but the additional costs associated with hive rental may offset final profits. To improve economic viability, we explored alternative scenarios of shared hive rental and higher market prices for pollinator-friendly products. Our findings suggest significant links between farmers' concerns about pollinator management and their practices, particularly among conventional farmers who may have a more traditional perspective on pest control. Implementing pollinator supplementation requires reducing pesticide use, which can face substantial cultural barriers due to traditional reliance on chemical pesticides, underscoring the critical need for the development of pollinator-friendly practices, benefiting both environmental and economic outcomes.

Keywords

Pollinator supplementation – smallholder farming – pest pollinator management – pesticide use

5.1. Introduction

On a global scale, there is an urgent need for a shift towards sustainable food systems that not only provide nutritious, healthy and accessible food for a growing world population but also ensure fair and stable incomes for farmers (Bommarco et al., 2013b; Godfray et al., 2010; Rockström et al., 2017). Over the past 50 years, the combination of population growth, policies, and technological advancements has led to agricultural expansion and the adoption of intensive farming practices. This shift to industrial agriculture has resulted in increased crop production and economic gains, but it has also caused overuse of agrochemicals, landscape simplification and biodiversity loss (Outhwaite et al., 2022; Pretty, 2018; Vanbergen et al., 2020).

In agricultural landscapes, arthropods and particularly insects thoroughly interact with both cultivated and non-cultivated plants, as well as with other organisms. These interactions can have significant positive or negative effects (i.e. ecosystem services, ES and disservices EDS) on food production as they can be related to nutrient cycling, pest predation, or plant reproduction, but also to plant damage through herbivory and disease transmission (Dominik et al., 2018; Garibaldi et al., 2018; Gurr et al., 2003). For instance, parasitoids and predator insects help to regulate agricultural pest populations providing natural biocontrol on crop systems, thereby alleviating the reliance on synthetic pesticides and reducing the economic and environmental costs associated with pest control (Garibaldi et al., 2018; Gurr et al., 2003). Likewise, many species of insects are key pollinators for the majority of flowering plants, enabling fruit and seed production (Garibaldi et al., 2018; Klein et al., 2007). Nearly 75% of crop plants depend to some degree on animal pollination, thereby representing a globally significant ecosystem service (Klein et al., 2007). Pollination not only contributes to plants' reproduction but also preserves the genetic diversity of crops (Abrol, 2011), contributing to crop yield and agroecosystem resilience (Garibaldi et al., 2018; Martin et al., 2019). Both the beneficial and detrimental insect-related ES and EDS and their trade-offs have significant implications for insect conservation and the sustainable management of (agro)ecosystems (Cardenas et al., 2022; Senapathi et al., 2015), a crucial undertaking at the intersection of biodiversity preservation, scientific progress, and societal concerns (Duke et al., 2013; Montoya et al., 2020). This is especially important in middle- and low-income countries (MLIC) regions, where small-scale agriculture plays a significant role in local communities and faces important risks attributed to global environmental changes in (agro)biodiversity (Abid et al., 2016; Alam et al., 2019; Altieri et al., 2012; FAO, 2014; Steward et al., 2014).

Smallholder farming systems face major challenges on water scarcity, land degradation, social displacement and economic disparities (Caballero & Popkin, 2002; Dixon et al., 2001; Vanbergen et al., 2020). In MLIC, such factors can detrimentally impact both crop production and farmers' livelihoods, in a context of heightened vulnerability due to deficient infrastructure, technological limitations, and insufficient access to information and technical expertise (Berdegué & Fuentealba, 2014; IFAD, 2013; Tittonell, 2013). In order to combat crop pests and diseases, the widespread use of chemical pesticides has become increasingly favoured, given their perceived effectiveness, although this practice has known detrimental effects on human health, environmental sustainability, and economic viability of production systems (Brühl & Zaller, 2019; Schreinemachers & Tipraqsa, 2012; Struelens et al., 2022). In many MLICs, this reliance on pesticides can often arise from misinformed recommendations, potentially overlooking impacts on agrobiodiversity and farmers' welfare (Sarkar et al., 2021; Struelens et al., 2022).

Because it is a key incentive for farmers, economic valuation has often been used to assess the ES and EDS of insects in agriculture (Daily et al., 2000; Duke et al., 2013; Melathopoulos et al., 2015; Waterfield & Zilberman, 2012; Wratten et al., 2012). In the case of crop pollination, measures of its contribution to yield are increasingly employed for looking for ways to more sustainable management practices (i.e. pesticide reduction) (Bauer & Sue Wing, 2016; Breeze et al., 2016; Kremen & Miles, 2012)as well as to justify the conservation of pollinators (Bergamo et al., 2023; Hall & Martins, 2020). However, this approach gets bounded as the issues facing threatened pollinators (and biodiversity-mediated benefits in general) go beyond purely agronomic or economic domains (Potts et al., 2016; Rader et al., 2016; Sijtsma et al., 2013). In some cases, social factors may carry greater significance than economic factors in specific contexts (e.g. at a particular location where landscapes hold for spiritual wellness), and it may be challenging to assign monetary values to them. This can potentially influence stakeholders' decision-making processes even though these social factors were not intended to influence decisions in any particular way (Mutenje et al., 2019; Wyckhuys & O'Neil, 2007).

In this context, when assessing local perceptions of insects, it is important to fully consider not only their material or utilitarian significance but also alternative or complementary perspectives such as animal-human conflicts, fears and non-economic valuations (Hall & Martins, 2020; Potts et al., 2016; Tamburini et al., 2019). Recognizing the crucial role of Indigenous Peoples and local communities (IPLCs) in relation to their environment necessitates a multidisciplinary approach providing a perspective to examine biodiversity, particularly in the case of insects. It involves considering diverse knowledge and perceptions, which range from viewing insects as resources or commodities to recognizing them as beneficial or harmful organisms (Arias-Arévalo et al., 2018; IPBES, 2016). In this context, a more holistic assessment can allow the identification

of factors that might influence the implementation of insect-friendly practices, providing a solid basis for policies aimed at focusing on pollinator management and conservation. Thus, evaluating the contributions of pollinators in SHF requires considering yield parameters as well as environmental and cultural factors affecting farmers' livelihoods. A such framework might also allow scaling up pollinator-friendly strategies, ultimately providing benefits for both crop productivity and farmers' well-being.

The inherently complex nature of pollination services suggests that coming up with accessible, cost-effective and ecologically coherent alternatives for insect management can be challenging, particularly for smallholding crop systems in MLIC. While numerous studies have examined insect pollinators' contribution to crop yield in high-input farming systems in temperate regions (Allen-Perkins et al., 2022; Siopa et al., 2023), and concentrated on few major staple crops, limited attention has been dedicated to smallholding systems and important local crops (Garibaldi, Carvalheiro, Vaissiere, et al., 2016; Requier et al., 2023). Our work aims to assess the ecological, agronomic and economic outcomes of three crop management practices (conventional - pesticide-based, organic, and pollination-supplementation) by (1) exploring broader functions and practices associated with insects in the socio-ecological system; (2) quantifying pollination services for a locally important crop in smallholding from the Ecuadorian Andes; and (3) assess pollinator contribution to crop yield and economic factors having an impact on farmers livelihoods exploring alternative scenarios of pollination management. This multiperspective assessment aims to better understand, forecast and facilitate decisions concerning the social, ecological and economic factors likely to support the implementation and development of more integrated pollinator management in agricultural systems.

5.2. Material and methods

Study area and sites

The study involves experimental fields as part of a collaborative research program in which farmers have been actively engaged for over five years, with a focus on pest management and agroecological matters (see Supplementary material 1 and (Mina et al., 2020; Struelens et al., 2024)). The research was conducted in four villages within the Cotopaxi province, in the central highlands of Ecuador (0°50' 00''S, 78°51' 00'' O; mean altitude of 3160 m asl for our study sites, ranging from 2893 to 3598 m asl), an area presenting an important concentration of crop production for the country's food security. Although considerable climatic variation can prevail among valleys (e.g. water availability, solar radiations), annual precipitations range from 750 to

1000 mm and average temperature ranges from -6 to 26 °C (see (Dangles et al., 2008) for further details). The region frequently experiences extreme weather events such as hail showers, drought and seasonal variations of rainfall patterns. Community-managed irrigation systems are often implemented to ensure efficient water usage and sustainable crop production. The study area is generally made up of clayey-sandy and silty soils that have high calcium, nitrate and magnesium contents suitable for cereals crops.

We selected 11 study sites located in the high-altitude zones characterized by sparsely populated settlements scattered throughout fragments of semi-natural vegetation and remnants of Andean woodlands or planted forests (eucalyptus/pines). This mixed agricultural landscape typically embeds a mosaic of smallholder agricultural fields (< 2 ha size corresponding to nearly 58% of farms; (Berdegué & Fuentealba, 2014; FAO, 2017; Struelens et al., 2024), and some larger fields that have been progressively expanding. Agriculture mainly focuses on cultivating both permanent and seasonal crops like pastures, potatoes, native maize, local tuber and bean varieties, quinoa, Andean lupin, and vegetables. The majority of these crops are grown for household consumption and for selling in nearby markets. Farmers in rural regions often juggle farming with other off-farm jobs and men migrate to urban centers to work in under-qualified and precarious positions (Cogle et al., 2021; Navarrete et al., 2023). This region accounts for a high proportion of rural inhabitants, standing in the lowest income categories of the country (mean income ranging from 22 to 432 USD per month, INEC 2019). It is important to underline that our experiment's core objective was to assess the significance of pollination in open field conditions, a facet that can be frequently overlooked in research carried out in controlled environments. These challenges in our fieldwork align with issues experienced by local farmers and support the need to conduct on-farm participatory experiments, especially in data-scarce contexts like SHF in low- and middle-income countries (Jones et al., 2022; Lacoste et al., 2021; Pereponova et al., 2023). Thus, based on preliminary discussions with experienced farmers willing to participate in the experiment, we set up the survey studies and set up 33 experimental plots within fields under three strategies of lupin management (see section 2 study design).

Study crop

We focused our study on crops of sweet lupin (*Lupinus mutabillis*), a leguminous native from the Andes that presents high protein contents (between 40 and 51%) (Chalampuente-Flores et al., 2023; Cowling et al., 1998). All fields were sown between mid-January and the end of March 2022 with the same *L. mutabillis* sweet cultivar (INIAP-450-Andino variety), the most commonly lupin seed cultivated by farmers in the region since the early 2000's (Martínez Flores et al., 2016; Martínez-Flores et al., 2017). Locally named *chocho* or *tarwi*, it has been cultivated traditionally

by Indigenous people of Ecuador, Peru and Bolivia (Martínez-Flores et al., 2017; Rios, 1996), although other species (*L. angostifolious* and *L. albus*) are also grown commercially in temperate countries (USA, Australia, Europe), mainly for livestock feed or as part of processed products (Gresta et al., 2017; Gulisano et al., 2019; Lucas et al., 2015). In Andean countries, lupin is consumed daily and used as nutritious livestock feed in both extensive and intensive production systems. Lupin is agronomically promising as it contributes to nitrogen fixation, enhancing phosphorus availability in soils, as well as playing an important role in plant management as a disease break in crop rotations (Bebeli et al., 2020; Chalampuente-Flores et al., 2023). *Lupinus mutabilis* has a life cycle of 6-7 months and can be produced in altitudinal ranges between 2500 to 3400-3600m a.s.l, alongside to cereals, potatoes and grassland (Chalampuente-Flores et al., 2021; Gulisano et al., 2019).

Like most leguminous crops, Lupin is mostly self-compatible (autogamous) but cross-pollination has been documented to increase crop yield up to 58.8%, with variation between lupin varieties (Barda et al., 2021; Cowling et al., 1998; Fijen et al., 2021; Gulisano et al., 2019; Williams, 1987). Flower visitors of lupin are mainly long-tongued species due to the specificity of the flower morphology, which can be foraged without perforating the base of the corolla as other *Fabaceae* (Barda et al., 2021; Kobayashi et al., 2019; Lundin & Raderschall, 2021). Previous works have identified several bee species as lupin flower visitors such as bumble bees (*Bombus* sp.), solitary bees (e.g. *Xylocopa* sp., *Anthophora* sp.), and the Western honey bee (*Apis mellifera*) (Barda et al., 2021; Fijen et al., 2021). Beyond pollinators, a diverse and abundant entomofauna is associated with Andean lupin fields with at least five orders of insects (Coleoptera, Diptera, Lepidoptera, Hemiptera and Thysanoptera) recognized as potential pests for this crop (Mina et al., 2017).

Study design

In a previous phase of our research project, we identified key insect taxa relevant to farmers and explored local knowledge system. Building on this collaboration, we aimed to combine agronomic, scientific, and social interests, addressing both scientific and farmers' needs and expectations regarding insect management, and gathering data on the ecological dynamics of pollinator decline and its impacts on agriculture and ecosystems. The study sites were selected in collaboration with farmers during the earlier stages of the project, and initially classified farmers into organic and conventional groups based on their insect management defined by local practices. Once the experimental setup was established, preliminary results on farmers' interest to implement management actions facilitated the addition of a supplementary pollination treatment to selected fields. This enabled the comparison of three distinct strategies, as detailed below (see Supplementary material 2): T1: conventional pest management using synthetic

pesticides, no pollinator management (11 plots); T2: pest management based on organic pesticides and plant-based extracts customarily used by farmers, no management of pollinators (12 plots); and T3: organic management treatment for which fields were supplemented with honey bee hives (10 plots). To ensure consistency, experimental sites belonging to the same groups (treatments) were managed in the same way.

A collaborative agreement was established between the research team and farmers, following guidelines set by the Code of Ethics of the PUCE (Number CEI-50-2021). We collected the following data: 1) farmers' perceptions and knowledge of entomofauna functions, and preferences on management options (based on structured and semi-structured surveys); 2) data on pollinator communities (based on pan-trapping field surveys); 3) data on insect visitation for identified potential pollinator species; 4) lupin pollination and plant yield parameters based on exclusion experiments; and 5)data on lupin production costs and economic component of crop production (based on detailed measure of activities and inputs of each treatment).

Farmers' perception and knowledge of insect functions on crops and insect management

An in-depth semi-structured survey was conducted, asking farmers open-ended questions about insect functions, perceived abundance, and impact on crops, as well as information on insect-plant relationships (Supplementary Material 3). Subsequently, a semi-structured survey was conducted to further identify the actions farmers were willing to implement to attract or maintain pollinators in their fields and the factors that might hinder the implementation of these actions (i.e. factors that might prevent the presence of pollinators). These actions included planting flowering plants, reducing pesticide use, and maintaining natural habitats. Farmers were then asked to rank these practices on a Likert scale ranging from 1 (very easy) to 5 (very difficult or impossible) based on the difficulty of implementation (for new practices) or the difficulty of modification (for existing practices). This ranking process helped us assess their willingness and interest in integrated pest management, particularly concerning pollinators.

Pollinator diversity, abundance and foraging activity

In the 33 plots, we recorded different parameters of pollinator communities including abundance, species richness, functional roles and behavior. We performed active (visits observation plots) and passive (pan traps) methods for entomofauna characterization (Duelli et al., 1999; Lebuhn et al., 2013; Leclercq et al., 2022). We sampled insects by placing yellow, blue, and white pan traps filled with a neutral detergent mixture within the plots for three days (72h).

The use of these specific colors has been proven effective for capturing a diverse range of insects in diverse habitats (McCravy, 2018; O'Connor et al., 2019). Insects collected in the pans were observed under a dissecting microscope, sorted into morphospecies and determined down to the species level whenever data was available (Duelli et al., 1999; Lebuhn et al., 2013).

We set focal observation points of a 4-m radius in each plot during the flowering period (~135 days after sowing). Daily, between 9h to 16h, we carried out flower visits observations in two shifts of one hour in the morning (between 9h and 12h) and one hour during afternoons (between 12h and 16h) ensuring favorable conditions (sunny to bright overcast, temperature above 15 °C, wind speeds less than 3 m/s) (Fijen & Kleijn, 2017; O'Connor et al., 2019; Vaissière et al., 2010). We registered the visits from 4 insect guilds (*Apis*-bees, non-*Apis* bees, Syrphidae and non-Syrphidae Diptera, see Appendix 3). We counted the number of flower visits at each observation point, noting the insect category and whether insects inserted their proboscis through the front of the flower opening or took pollen. Visits to extrafloral parts (no contact with another, pistil, stamens or stigma), were counted as visits but not considered pollinating visits since they did not contribute to pollination.

Pollinator exclusion experiments

Within each plot (n=33), we set up a block experiment consisting of two treatments where we randomly selected and tagged 10 non-contiguous lupin plants displaying similar growth stages and heights approaching the flowering period. For each plant, one branch was excluded from insect visitation by bagging it with a fine mesh tulle net (2 x 2 mm), appropriately sized to cover the inflorescence (Supplementary material 2). The nets were placed over the flower buds before the onset of flowering and removed during harvest (~195 days after sowing). The other branches were left unenclosed, open to insect visitation. The differences between the two treatments (bagged vs. open) allow for measuring the contribution of cross-pollination by insects (as bags do not impede self- and wind-pollination (Lebuhn et al., 2013; O'Connor et al., 2019).

Yield, pod and seed set measurement

For estimating lupin seed yields, both the number of pods and seed yield were considered final agronomic outcomes, as they were valuable for farmers in making informed decisions about crop management. Manual harvesting was carried out on the 10 randomly selected plants per plot, collecting pods when reached maturity. Subsequently, we counted the number of pods and seeds within each pod, and weighed the total mass of seeds per pod, separately for both bagged and open-tagged branches. We also weighted and counted pods and seeds of the rest of the branches

of the selected plants to estimate yields at the plant and plot level as well, based on the standard 30 x 80 cm planting scheme (INIAP 2016).

Lupin production economics

The economic assessment of lupin production was established through interviews and observations of farmers managing lupin fields, as well as workshops, field-training sessions, and informal meetings held throughout the lupin growing cycle (37 farmers). We systematically recorded the same types of costs for each crop management strategies as follows: 1) labor costs by recording exhaustively the duration of each activity undertaken as part of crop management; 2) inputs costs by listing the tools and supplies used regularly for lupin cropping (seed, mechanical and non-mechanical tools, fertilizers, pesticides, etc.); 3) implementation costs (once-off costs); 4) operational costs (including post-harvest threshing); and 5) supplementary costs for outsourced services provision (i.e. hives renting). Farmer's profits corresponded to the price of lupin production sold in local markets during the observation period 2022 – 2023 and also included rates and potential variation in costs for the alternative studied strategies (see data analysis section).

Data analyses

All data calculations and statistical analyses were done in R version R 4.2.3 (R Core Team 2022).

Insect diversity, abundance and pollinator visitation rates

We used the VEGAN package (v 2.6-5 2023), to analyze species richness and abundance data from traps. We calculated lupin flower visitation rates for each of the four pollinator guilds (*Apis*-bees, non-*Apis* bees, Syrphidae and non-Syrphidae Diptera) weighted by sampling effort of 120 min, to enable comparison, using total insect visitation across fields (Fijen & Kleijn, 2017; Garibaldi et al., 2020a). Subsequently, we ran ANOVA and Kruskal-Wallis analyses to assess differences in diversity metrics and visitation rates among the three management strategies (conventional, organic and pollinator supplementation).

Pollination and management strategies effects on crop production

We fitted Generalized Linear Mixed-effects Models (GLMMs) to analyze differences in lupin yield parameters (pods and seed number and seed weight) between bagged and open branches using the glmer function from the lme4 package (v. 1.1-35.1) with a binomial distribution of errors. Field and plot were included as random nested variables.

Yield and economic parameters

At the plot level, we calculated an aggregated yield index. For a plot *p*, Y_p, as a measure of productivity considering diverse parameters:

$$Y_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \times W_i \times S_i}{\sum_{i=1}^{n} SixP_i}$$

Where n is the total number of plants in the plot, P_i represents the number of pods on the i-th plant, W_i the seed weight on the i-th plant, S_i the number of seeds on the i-th plant and S_i/P_i the number of seeds per pod on the i-th plant. By multiplying these terms and normalizing against a standardized number of plants per plot, we obtained a metric that allowed comparison among the three management strategies (conventional, organic, pollinator supplementation).

From a economic standpoint, both costs and benefits are quantified in monetary terms, helping to develop a tool to guide for most-favorable decisions. In this sense, cost-benefit analyses (CBA) help evaluating the economic worthiness of baseline activities (i.e. current management strategies) or alternatives (e.g. introducing managed pollinators temporally) by estimating the present value of future flows of benefits and costs. Thus, farmers' decisions might be guided by the main question of whether the benefits exceed the costs or, alternatively, through cost minimization, aiming to achieve a predetermined environmental target with the least costs, and benefit maximization, seeking to maximize environmental benefits (Boerema et al., 2018). Total costs for one plot *p* (C_p) were computed as the sum of the five types of costs presented in Table S2.3, as follows:

$$C_p = \sum_{i=1}^{5} (P_i \times X_i)$$

With *i* = 1,2,…5 representing crop production types of costs, and P the price of unit for each production input, *X* (details in Supplementary material 2).

Further, the assessment of the profitability of the different crop management strategies involves calculating the profit per field (π_j) determined by subtracting the costs (C_i) from the revenues (R_i) generated from selling final lupin production, from a set value of 120 USD/ q (selling price for one quintal, local unit of measurement, which is equivalent to 4.5 kg). Selling price reported in local markets for the period of study, regardless of the type of management) as follows:

$$\pi_j = R_i - C_i = \sum_{i=1}^{v} (P_i \times X_i) - \sum_{i=1}^{z} (C_i \times X_i)$$

where P_l is the selling price of 1 quintal of lupin, X_l is the estimated index of yield, scaled for one ha.

We assessed the three experimental measured options using Cost-Benefit Analysis (CBA) to evaluate the effectiveness of each treatment and the potential to improve current management strategies. We subsequently gathered feedback from farmers and formulated hypotheses regarding management options that could be considered within local or broader contexts based on farmers' interactions with other stakeholders (e.g., other farmers, consumers and market owners, or beekeepers). We formulated three alternative scenarios from the pollinator supplementation strategy outcomes, recalculated the costs and benefits for each, and compared the changes in benefits among the three management strategies, based on pollination supplementation strategy, including Sc1) owning beehives individually, Sc2) collective beehive rental, and Sc3) better payback on bee-friendly products (see details in cost and benefits calculations in Appendix 3).

5.3. Results

Insect functions and management practices

Overall, related entomofauna functions identified were insect-plant interactions, such as pollination, or insect-insect interaction, such as pest control or (Figure 1). In general, insects were perceived to provide mainly material and regulating functions, or calling roles related to flower-insect interaction without explicitly mentioning pollination or benefits coming out for crops from these interactions (i.e. they mentioned some insects fly around and feed on flowers but there were not link established for further interactions). Organic farmers tended to be more aware to the role of insects in agrosystems than conventional farmers, citing different kinds of functions related to wider types of contributions (e.g. medicinal). Conventional farmers were more likely than organic farmers to call for insect functions on other agroecosystem elements (e.g. soil) but also express a lack of knowledge about the role of insects referring to certain insects as 'pests' or 'harmful' without specifying their exact threat level to plants. Farmers emphasized that certain taxa were more conspicuous and considered more important in the agroecosystem, for socio-cultural reasons (e.g. aesthetics reasons). Some taxa were not associated with any specific benefit or harm, when asked to assign a function or describe the role insects might play in the field, many farmers argued that they had no function ("*they just exist, fly or crawl around*") resulting in a "neutral" category of function (not accounted in our analyze) (Supplementary material 3).

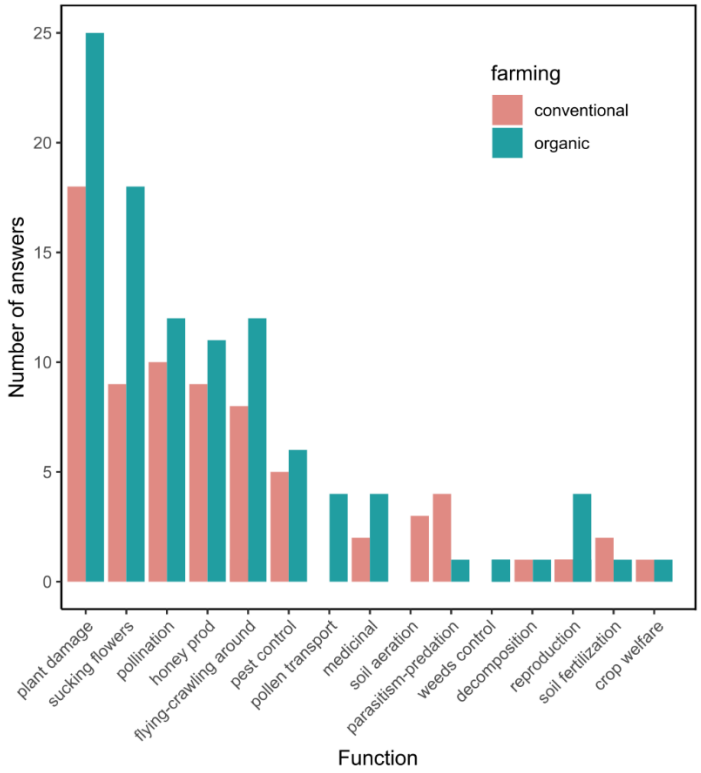


Figure 1 *Functions associated with agricultural-related entomofauna cited by organic and conventional farmers.*

Farmers evoked 9 type of actions important for engaging insect management in their agricultural fields (Table 1). Their answers included habitat loss or change (e.g. plant removal), insect dynamics (e.g. seasonal overabundance of certain species), knowledge (mainly lack of knowledge on management and ecology of insects metamorphosis), labor (additional workload of tilling the soil or managing beehives), habitat (e.g. for sowing or maintaining non-crop plants surrounding crop fields), climatic, harmful effects of insects and pesticide use. When considering the ease of implementing or changing of practices to support pollinators, organic farmers were more likely to report the importance of adapting practices related to non-crop habitat and found this relatively easy to implement (Likert score = 2). Significant challenges (Likert scores = 4 and 5) were associated with managing climate risks and mitigating the of harmful effects of insects. Conversely, conventional farmers indicated more difficulties in implementing changes. They were less likely to adopt pollinator-friendly practices and rated many practices as very difficult or impossible to implement in their fields (Likert score = 5). Adjustments in crop management and pesticide use were perceived as less challenging but rarely mentioned, while more attention was given to external factors such as those related to climatic conditions and habitat management, which were also rated as very difficult or impossible to manage. When deepening in farmer's interests into pollinator practices, they expressed enthusiastic support for evaluating pollination services as a crop management strategy. Some farmers expressed concerns about the risks associated with bee stings and potential yield losses, which made them hesitant to set pollination

management despite their interest and curiosity about the effects of pollination on their crops. However, these farmers continued to participate in the working groups and closely followed the results of the experimental plots where beehives were installed.

Table 1 *Levels of ease of implementation or changeover of insect management in fields. Reasons and actions were listed by farmers. The number in cells corresponds to the number of farmers for whom this action represented this difficulty for implementation as a management practice.*

Organic										
level		habitat change	insect dynamics	knowledge	labour	habitat plants	climatic	management actions	harmful effects	pesticides
1	very-easy		2	1		4	2	1		1
2	easy			1		2	1	2	3	1
3	intermediate	2		1	2	2	4	2		1
4	difficult		1		1	1	1		3	
5	very difficult-impossible				5	2	3	1		
Conventional										
level		habitat change	insect dynamics	knowledge	labour	habitat plants	climatic	management actions	harmful effects	pesticides
1	very-easy	1			1		1			
2	easy	1				2	1		2	
3	intermediate	1			1	1	3			
4	difficult	1						1	1	1
5	very difficult-impossible				1		2		1	

Insect diversity and visitation of lupin flowers

Out of the 2,602 insect specimens collected in the color plates, we identified 38 taxa from six orders (Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Lepidoptera, Neuroptera), mainly at family and morphospecies level (see the list of taxa in Supplementary material 1). Results by guild showed higher abundances for known pest taxa (four Diptera families), with most dominant species from the Sarcophagidae and Bibionidae families (Figure 2) and taxa with unknown or unspecified function (1840 ind. from 17 morphospecies). Most abundant families from Hymenoptera included *Apis* sp. and Halictidae (85 and 32 ind., respectively) and Diptera Syrphidae, mostly *Eristalis* spp (112 ind.), totalizing 9.4% of the collected specimens. In organic and pollinator-supplemented fields, there was a slightly higher mean species richness compared to conventional fields (13.0 vs 11.3 taxa, respectively, but the tests did not showed significant difference between the treatments F value 0.16, P-value 0.8).

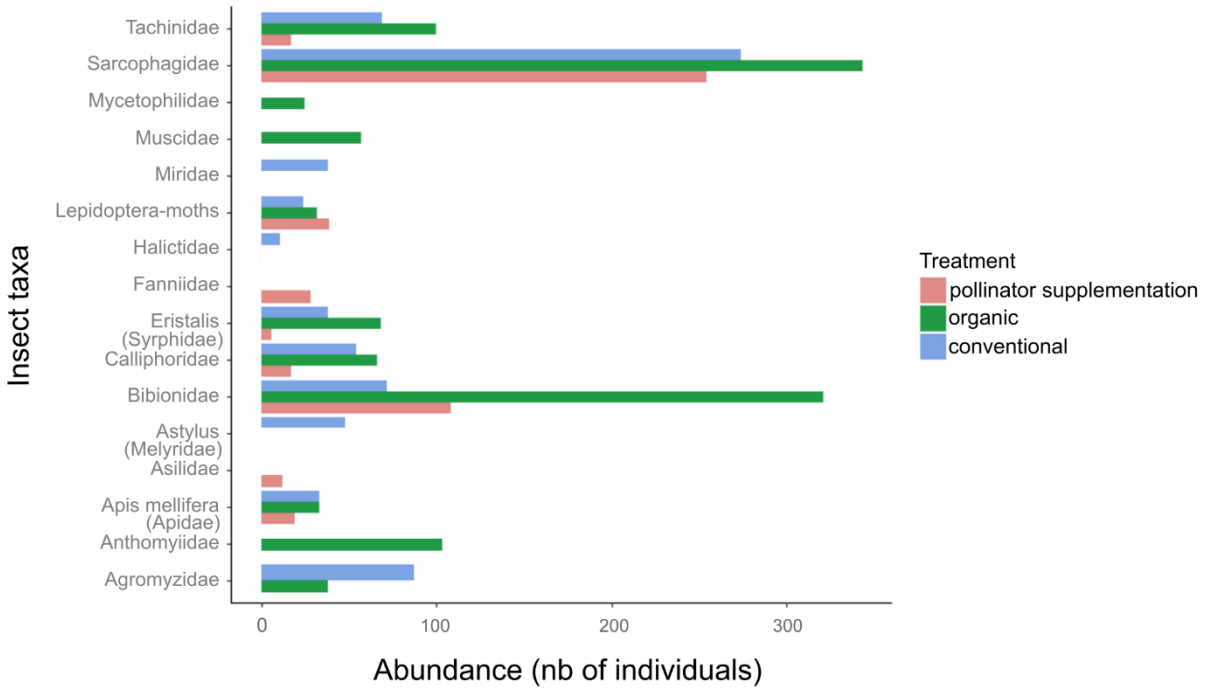


Figure 2 *Total abundance of the main insect taxa collected in pan traps in the three lupin crop management treatments (pollinator supplemented, conventional pesticide-use for pest control and organic with no-pesticide use in pest control).*

In total, we carried out 6,240 minutes of observation of flower visitation during bloom period from the set experimental plots monitored (Figure 3). Overall, pollinator supplementation treatment was associated with a higher number of visits (+55.56%), while there was no difference between organic and conventional fields. We observed a greater visitation of *Apis mellifera* in pollinator-managed fields, of 27.64% higher than organic and 39.18% in visits relative to the conventional treatment. We observed a significant interaction between field treatment and guilds (identity of visitors) having a positive effect on the number of visits (ANOVA, $F = 3.54$, $p = 0.011$). Furthermore, crop management treatment had a significant effect on flower visits of non-*Apis* visitors (e.g., hoverflies and non-Syrphidae flies), with pesticide-treated field presenting lower visits of *Bombus spp* (post hoc paired test; $p < 0.05$). Importantly, the presence of honeybees in the pollinator supplementation treatment had no effect on *Bombus* spp visitation when compared to compared to organic and conventional treatments (post hoc paired test; $p = 0.84$ and $p = 0.30$ respectively).

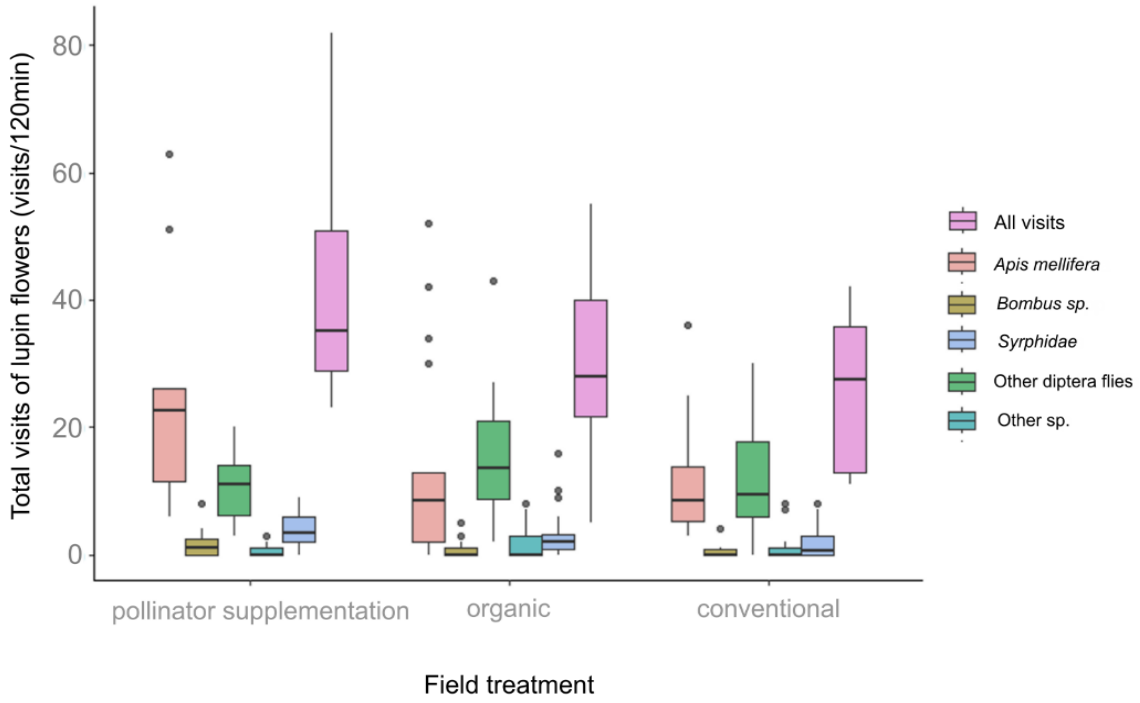


Figure 3 *-Visitation counts by different insect groups. Values represent total visits at observation points in surveyed plots. The three experimental management treatments are on the x-axis (conventional representing pesticide-use for pest control, organic for no-pesticide use in pest control, and pollinator supplementation organic with managed beehives).*

Pollinator exclusion experiments

Table 2 *- Results of the generalized linear mixed-effects model GLMM on pooled bagged and open treatments from the experimental exclusion measurements of pod set on lupin plants.*

Fixed effects	Estimate	Std. error	z-value	Pr(>|z|)	Signif.
(Intercept)	-1.72	0.155	-11.07	< 0.01	***
reatment organic	0.031	0.182	0.17	0.86	
treatment conventional	0.166	0.191	0.87	0.38	
treatment branch_open	0.653	0.068	9.54	< 0.01	***
treatment organic:treatment open	-0.311	0.095	-3.27	0.001	**
treatment conventional:treatment open	-0.878	0.116	-7.55	< 0.01	***

We found a significantly higher percentage of pod set in open pollination for the pollinator supplementation treatment compared to the two other treatments (GLMM, $p < 0.001$, table 2, Figure 4a). When expressed in pods, the pollinator-supplement treatment provided up to +35% pods on lupine plants than the pesticide treatment and +16% more than the organic treatment. The percentage of pod set in bagged branches did not significantly differ among treatments. Within pods, seed number, % of seed set and seed weight were not significantly different among treatments in both bagged and unbagged branches (Figure 4b, c, d; Table 2).

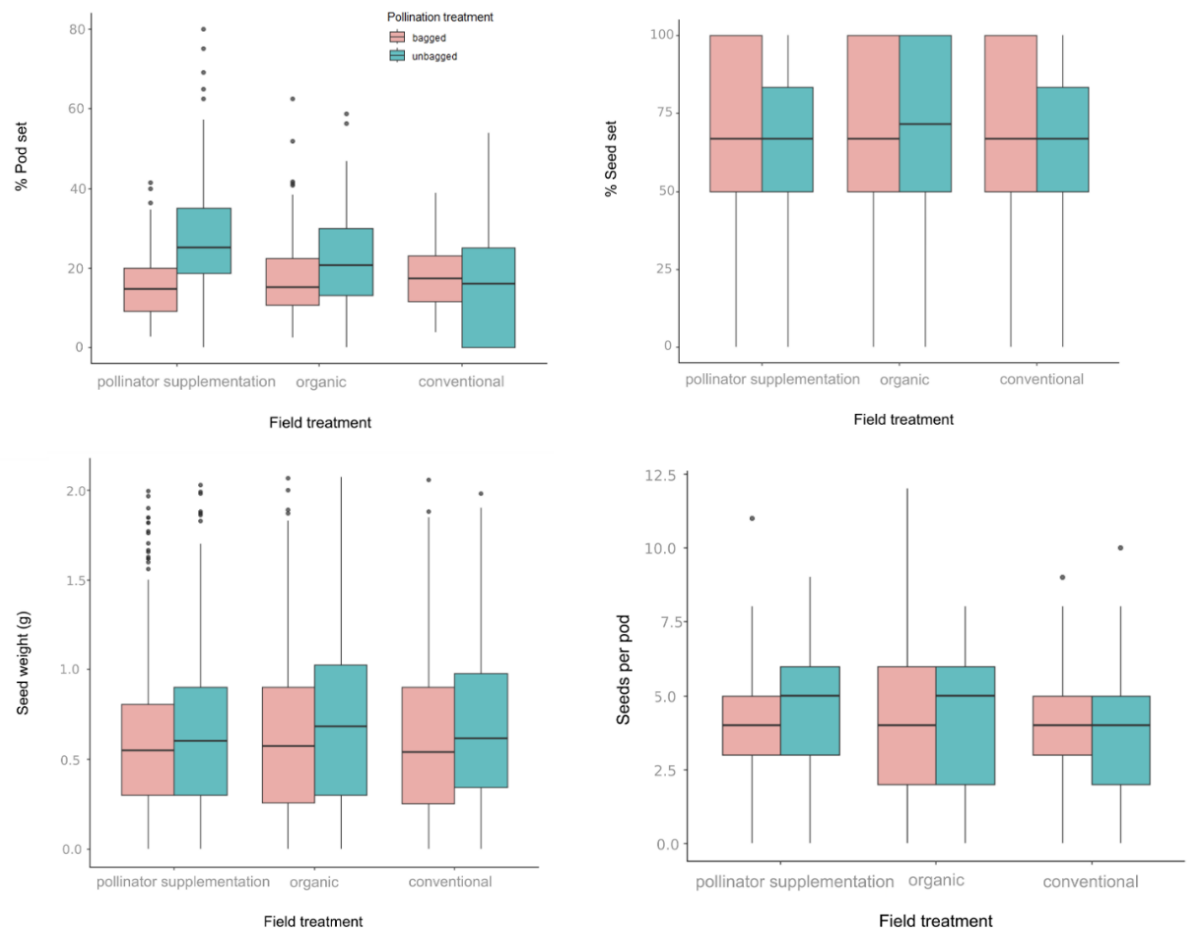


Figure 4 *- Pollination effect measured by open/bagged plant experiment. . Boxplots from mean values of measured number of seeds between bagged and open branches to test for pollination effect in each treatment fields: conventional, organic, pollinator supplementation. Statistical analysis using ANOVA was performed to compare the means of the three treatments. p-values are notated as follows: p<0.05p<0.05 indicates a statistically significant difference.*

Effects of management strategies on yield and farmers income

Our results from yield index indicated a significant impact of field management treatment on the number of pods produced per plant (Kruskal-Wallis test p-val = 0.0018). This resulted in significantly higher mean values of yield index from pollinator supplementation when compared to organic and conventional treatments (+20% and +41 %, respectively, Kruskal-Wallis test p-val = 0.018, Figure 5). Other yield parameter tested, such as number of seeds and seeds weight, showed no significant differences between treatments (p > 0.05, see Supplementary material 2).

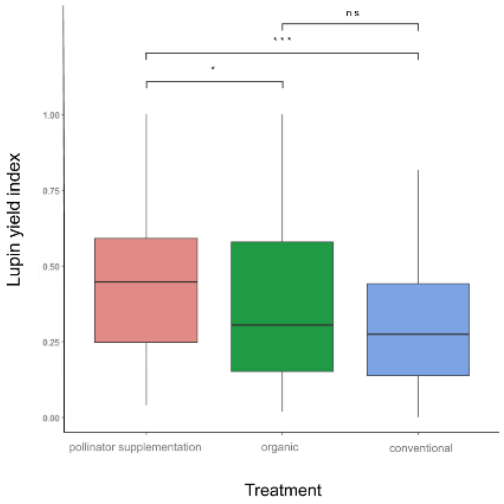


Figure 5*-Yield index. Boxplots of yield calculated from the plots in farmer fields standardized for 1 hectare.*

Despite an increase in yield quantity in the pollinator supplementation treatment, mean total costs for 1 ha of lupin crop were about 48,6% higher compared to organic and about 42,75% higher than conventional management treatments (Figure 6a). This was mainly due to the additional costs of renting hives. Consequently, mean profitability was significantly higher for organic management compared to pollinator supplementation and conventional management (Kruskal-Wallis test p-val=0.016; Figure 6, Supplementary material 2), but conventional management was less profitable than additional pollination.

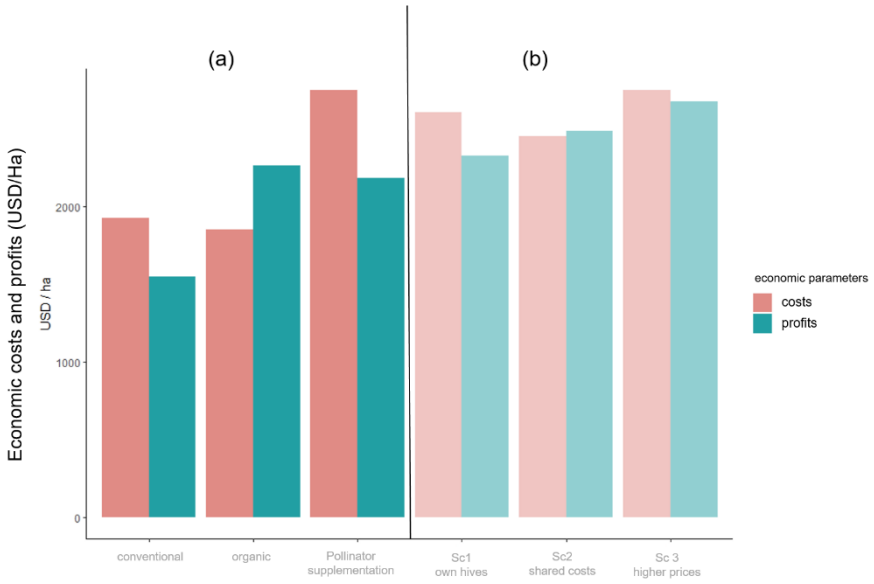


Figure 6 *(a) Total costs and profits for the three experimental field management strategies evaluated. (b) Economic parameters estimated for alternative scenarios exploratory discussed with farmers based on pollinator supplementation strategy hypothesizing (Sc1) farmers owing individual hives, (Sc2) farmers sharing rental hive costs, (Sc3) higher selling prices from pollinator-friendly farms.*

We then discussed with farmers alternative scenarios of beehive management (Table 3, Figure 6 b) and examined the cost-benefit variations across the options they proposed (i.e. Sc1 owning own individual hives, Sc2 sharing hive renting costs with neighbors, Sc3 getting 10% higher selling prices for products from pollinator-friendly plots). Comparing shared renting to owning them privately, we found a 6.09% reduction in costs and a 6.85% rise in benefits, indicating improved economic efficiency. Contrarily, when comparing higher incomes from additional payment for bee-friendly products, this last displayed a slight cost increase, accompanied by a notable 15.13% profit increase, highlighting its enhanced cost-effectiveness, showing that higher rewards would allow a positive but less pronounced profit increase.

Table 3 *Economic outcomes ~ treatment. Economic assessment outcomes from management strategies: mean costs and estimated profits for experimental and alternative proposed management strategies. All data is given in USD/Ha*

Management strategies	Costs (USD/Ha)	Income (USD/Ha)	Profits (USD/Ha)
Conventional	1926.1	3473.30	1547.20
Organic	1848.94	4110.85	2261.91
Pollinator supplementation	2748.94	4932.34	2183.40
Sc1 : Pollinator supplementation + farmers owning the beehives	2607.75	4932.34	2324.59
Sc2 : Pollinator supplementation + collective rental of beehives	2448.94	4932.34	2483.39
Sc3: Pollinator supplementation + 10% higher selling prices	2748.94	5425.57	2676.63

5.4. Discussion

Our experimental approach aimed to quantify the benefits and tradeoffs of pollinators in lupin crop systems. Initially, we broadened our analysis to encompass the diversity of associated functions of insects in SHF landscapes, with a specific focus on pollinators and evaluate farmer's willingness to implement pollinator-friendly management practices. We focused on assessing pollination services, specifically pollination efficiency (Bartholomée & Lavorel, 2019; Vaissière et al., 2010) based on a preliminary assessment of farmers' interests in implementing these practices, as well as their concerns associated with negative effects on other elements of the agroecosystem (including livestock and humans). Test and evaluation of three management strategies allowed us to measure tradeoffs between pest-control and pollinator on farmers experimental plots. For those with pollinator supplementation, yield outcome to be up to 41,9 % higher for pollinator-supplementation treatment compared to conventional fields, and 19.9% higher compared to organic management. This experimentally measured yield according to pollination management appeared to be on the number of pods, but not on the mass and number of seeds per pod, with interesting economic outcomes under certain conditions (i.e. due to the costs associated with hive management by external service providers). This multiperspective evaluation enabled us to gain a broader socio-ecological understanding of how crop-related

entomofauna can influence the adoption of pollinator-friendly practices that align with both ecological, economic and non-monetary values.

Effects of management strategies on pollinators and pollination

Globally, crops exhibit varying degrees of dependence on insect pollination (Bommarco et al., 2013; Klatt et al., 2014; Klein et al., 2007), but data is still lacking on crops cultivated in smallholder farming (Melathopoulos et al., 2015; Steward et al., 2014). The use of pesticides presents a trade-off for agroecosystems and farmers' decision-making for pest control while considering pollination, as pesticides have a negative impact on pollinator populations, extending their effects beyond the targeted pests, affecting soil-dwelling insects, and birds (Brühl & Zaller, 2019; Pecenka et al., 2023; Schreinemachers & Tipraqsa, 2012). Although a negative effect was expected for pesticide treatment, particularly on target dipteran species, diversity and abundance data showed no significant difference between the treatments. A limited impact of local management practices on insect diversity is often observed in regions with homogeneous landscapes (Maurer et al., 2024). Our results suggest that crop fields without pesticides, while promoting insect-friendly conditions, are embedded within a broader matrix of conventional agriculture using pesticides, that influencing insect populations at regional and global scales (Lebuhn et al., 2013; Struelens et al., 2021). Therefore, the effectiveness of insect-friendly practices in organic fields may be influenced by broader landscape-level factors such as neighboring land use practices and regional ecological dynamics (Baggio & Hillis, 2018; Berthet & Hickey, 2018; Nicholson et al., 2017).

When pesticides are used, potential variations in functional diversity may occur even if there are no significant differences in insect abundance and diversity within communities (McCabe & Cobb, 2021; Nicholson et al., 2017). In in high-elevation areas, dipteran species might compensate for lower efficiency with higher visitation rates, but they may still collect insufficient pollen for effective pollination, particularly in the later anthesis phase, thus reducing pollination efficiency (Ne'eman et al., 2009). This trend becomes more pronounced with increasing altitude due to the shift from bee to fly-dominated pollinator communities (McCabe & Cobb, 2021). This may present challenges for supporting diverse pollinator communities including hoverflies and bees.

The observed differentiated responses for flower-visiting groups may lead us to consider the effects of landscape homogenization, on a broader scale as well, under decreasing abundance and diversity due to the reduction of foraging resources and nesting sites (Andersson et al., 2013; Meyer et al., 2009), which also proved to be one of the most important actions to be implemented

according to the farmers' responses. In the studied crop system, despite being agrosystems dominated by maize, cereals and potatoes, lupin flowers exhibit abounding yellow stamens (floral rewarding mechanisms signals), optimizing pollination by insects, especially hymenopterans for which lupin flowers can provide important rewards in pollen and plant exudates (Devegili & Farji-Brener, 2021). At the landscape level, certain pollinators might then benefit from lupin and other *Fabaceae* plants as they should support bees that frequently collect pollen from bush and climbing beans (*Phaseolus vulgaris ;* (Elisante et al., 2020)), peas (*Pisum sativum*) and faba beans (*Vicia faba* ; (Lundin & Raderschall, 2021)). However, an increased reliance on generalist pollinators may become unsustainable if pollinator losses persist, especially in areas with higher honeybee dominance (Goulson & Sparrow, 2009; Requier et al., 2023).

Effects of pollinators on crop yield and farmers' income

While pollinator management and protection may be perceived as non-essential for crops with lower or non-pollination dependence, our study reveals that pollination influences moderately lupin crop productivity in the studied sites (see pollination levels in (Klein et al., 2007; Potts et al., 2010; Siopa et al., 2023). We observed an increase in yield for insect-pollinated plants compared to no-supplemented pollination fields, primarily due to an increased pod set. The difference in pod and seed formation indicates a pollination success filter, with an improvement in pod production when there was more flower visitation. This might reflect different mechanisms underlying pollination efficiency, which can be linked to pollinator guilds by their foraging behavior and key functional traits in the pollinator-plant relationships (Barda et al., 2021; Ochoa-Zavala et al., 2016). This may imply better access to floral rewards for larger-bodied and long-tongued species (eg. *Bombus* and *Apis*) and imply mechanisms of buzz-pollination that can be further explore (Barbosa et al., 2023; Barda et al., 2021; Beyer et al., 2020; De Luca & Vallejo-Marín, 2013). Indeed, some lupin varieties can exhibit advantages in protein values, potentially indicating compensation through seed composition in response to enhanced insect pollination (Barda et al., 2021; Fijen et al., 2021; Neves-Martins et al., 2016).

Our fieldwork observations and surveys allowed to calculate real costs of insect management strategies through a cost-based approach using production functions, especially for operational and post-harvest costs, to accurately reflect the actual experience of farmers at the fine scale. Our findings underscore the importance of pollination services in agroecosystems of the Ecuadorian Sierra, resulting in higher yields of lupin crops. This yield increase translates to an extra income of about US$ 635/ha for organic treatment and about US$ 820/ha for pollination management in one crop cycle compared to conventional treatment with an assumed constant

selling price of 120 USD for one quintal (note that selling prices can vary from from 100 to 150 US$ for one quintal throughout the year but lupin show smaller variations compared to the larger fluctuations seen in other local crop products). Our estimates from farmers' experimental fields suggest yield increments ranging from 15 to 29%, compared to the mean range of 10–40% proposed by previous studies on the same crop (Chalampuente-Flores et al., 2021), and US$ 1620/ha (INIAP 2021), but benefits of managed pollination may vary depending on environmental conditions (i.e. climatic, edaphic). Economically, the benefits of pollination can be strengthened in extensive agricultural landscapes, as demonstrated in crops such as apples, almonds, and various fruits and vegetables in temperate agroecosystems (Krauss et al., 2011; Lonsdorf et al., 2020). However, at the plot or smaller field level, the economic gains may be less evident, especially in agricultural systems where reliance on pollinators might not be as important, and the economic benefits could come over long-term (Altieri, 2004; Nicholson et al., 2017). Understanding these scale-dependent nuances is crucial for farmers and policymakers in implementing pollination services management (Porto et al., 2020) and keeping caution when applying these findings to higher farming scales.

Wider consideration of insects functions and values

While costs associated with pollinator-friendly practices (organic and beekeeping) could potentially be offset by price incentives or public subsidies, they cannot be fully compensated in the current socio-economic and agricultural context. Similarly, organic farming in small holding systems requires more labor, but this can be offset by reduced input costs and by the fact that community labor systems still include free components (*Mingas*, as the main form of cooperative labor parties; obs. Pers.; (Calvo & Morales, 2013; Faas, 2017). However, it is important to note that while organic yields may not necessarily fluctuate more than conventional yields, there is a higher risk of price uncertainty due to the smaller scale and less developed nature of or even non-existence of organic markets. This is why it could be interesting to reinforce and promote Participatory Guarantee Systems as alternative certification schemes to the certification of agroecological and pollinator-friendly products, both in rural and urban areas (Intriago & Amézcua, 2016; Pino Andrade, 2017).

Beyond economic considerations, farmers may attribute large diverse meanings to pollinators and particularly to bees (Hall & Martins, 2020; Potts et al., 2016), underlining the inherent challenges in assigning monetary or surrogate values to the complex relationship between people and their environment (Breeze et al., 2020; Misiune et al., 2022; Potts et al., 2016). Perception of positive aspects can be counterbalanced by the complex relationships between

farmers and pollinators, such as bee stings or fears stemming from myths and beliefs, which may discourage the development of pollinator management on farms, as reported by farmers in our study. We found that managing honeybees can significantly enhance crop yields through pollination, but other cultural barriers among farmers might keep them relying on pesticides, when believing they are more effective for pest control, further dissuading them from adopting pollinator-friendly practices. Addressing these barriers through problem-based knowledge co-construction and support of local practices to help farmers understand the ecological and economic advantages of integrating bees into their farming practices. These diversity of strategies to favor pollinators can be justified for a larger number of perceived functions, as in this case it benefits only one species (*Apis mellifera*), but with the integration of other strategies, habitat or resource types flowers ensures the arrival and maintenance of a greater diversity of insects. This highlights the importance of taking into account all the interactions between ecosystem services and disservices, as it was revealed from out holistic assessment that perceived instrumental benefits might outweigh farmers perceptions and actions, and the negative effects of pesticides on the pollination service favoring integrated pest and pollinator management (IPPM; (Egan et al., 2020; Lundin et al., 2021)).

5.5. Conclusion

Through a participatory approach, we aimed to explore insect management options in high Andean smallholder systems. Our goal was to promote more sustainable agricultural practices, with a focus on addressing the issue of declining pollinator populations. To achieve this, we conducted an experimental evaluation of pollination services in lupin crops in Ecuador central Sierra region. Our study presents field-based data on insect management strategies, focusing on pest control and pollination practices based in pesticide use, organic and pollination supplementation. The results indicated that increased bee visitation, rather than insect diversity or pest reduction, had a significant effect on yield due to the supplementation of pollination services. Higher yield and final income for farmers were associated with the pollination-supplemented practices, but the costs associated with hive management may not optimize the economic outcomes at individual plots. Collaborative interactions with farmers allowed us to consider alternatives that lower the costs of beehive rental shared among neighboring farms, or when farmers own beehives and assume the maintenance costs. The most suitable of the options evaluated appeared to forge market schemes that guarantee greater income for farmers by recognizing the surplus value of products from bee-friendly farms. Furthermore, in a preliminary assessment, we found that farmers recognize a wide range of indirect and non-monetary functions and contributions from agricultural entomofauna, especially related to pollinators. This

recognition appeared to influence trade-offs in decision-making on pollinator-friendly management strategies or changing practices for more sustainable agriculture. Based on our results, it seems crucial to further investigate and consider widely the contributions of pollinators to society to understand the importance of their multiple contributions in agricultural contexts and their values for conservation in general.

In this context, our findings highlight the need for transdisciplinary research that actively involves farmers throughout the research process. This involvement includes monitoring the benefits of local management strategies and maintaining a continuous process of evaluation and adaptation using meaningful indicators. These indicators are essential for assessing the sustainability of these strategies within the community and for improving crop management practices. In addition, there is potential to develop socio-ecological indicators related to pollinators, based on qualitative data obtained through surveys and using indicator species highlighted by farmers as indicative of the ecological quality of habitats and agro-ecosystems. This practical and collaborative framework enables the exploration of trade-offs between the benefits and risks associated with entomofauna, thereby supporting sustainable farming practices and mitigating pollinator decline.

Acknowledgements

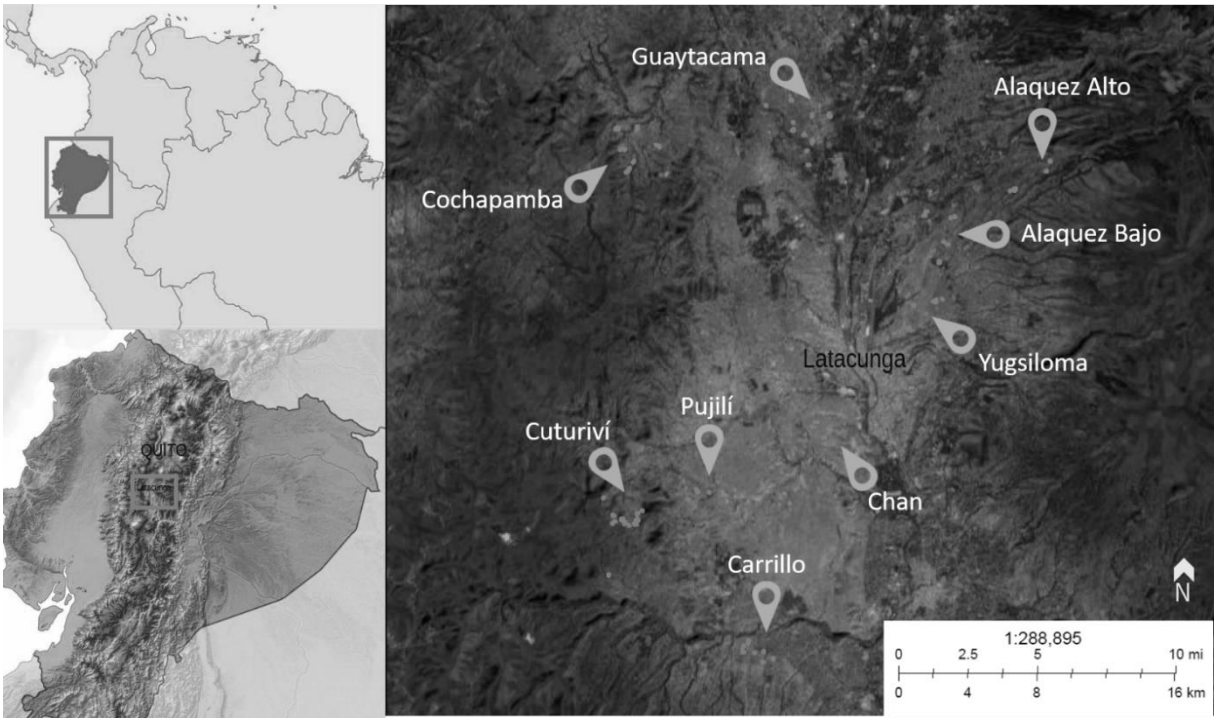
This work is part of the project "Agroecological management of crop insects: Towards a sustainable collective goal for farmers" conducted within the Crop Collaborative Research Program funded by the McKnight Foundation (grant number 19-309). TC was supported by a PhD grant from the ARTS program by the French Research Institute for Development (2021-2024). We gratefully acknowledge all the farmers from the Cotopaxi region for their time, dedication and active participation in this research. We thank local partners for their logistical support and assistance in conducting fieldwork.

5.6. Matériel supplémentaire Chapitre 5

Supplementary Material 1

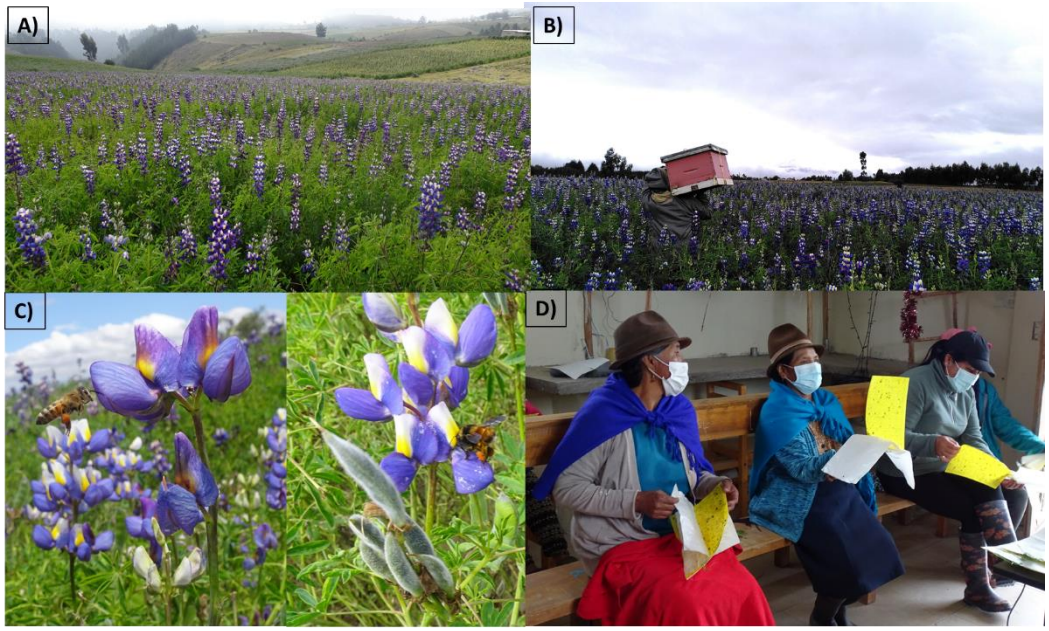
S1.1 Location map

Location map of the study area in the Cotopaxi Region, central Ecuadorian Andes. Our experimental plots were situated within farming fields of participants in the collaborative research project.



S1.2 photos depicting context in agricultural landscapes of Ecuadorian high Andes

Images of (a) lupin crop fields (b) beehives setting (c) Apis and Bombus visitors of lupin flowers during the study period (d) collective discussions, semi-directive surveys and sharing experiences with farmers as complementary methods of data collection for the collaborative approach of this research



S1.4 Insect diversity from traps by treatment

Diversity of insect species in lupin fields according to the three experimental management treatments

Data from entomological traps	Pollinator supplementation	Organic	Conventional
mean sp richness	13	11,875	11,33
total abondances	516	1298	788
species, morpho sp	Sarcophagidae	Sarcophagidae	Sarcophagidae
	Bibionidae	Bibionidae	Bibionidae
	Tachinidae	Tachinidae	Tachinidae
	Calliphoridae	Calliphoridae	Calliphoridae
	Fanniidae	Egromyzidae	Agromyzidae
	Eristalis	Eristalis	Eristalis
	Halictidae	Anthomyiidae	Apis_mellifera
	Apis_mellifera	Apis_mellifera	Lepidoptera_moths
	Lepidoptera_moths	Lepidoptera_moths	Miridae
	Miridae	Miridae	Astylus
	Ichneumonidae	Muscidae	Fanniidae
	Asilidae	Astylus	Halictidae
	Hedriodiscus	Stratiomyidae	Ichneumonidae
	Braconidae	Halictidae	Tipulidae
	Cantharidae	Mycetophilidae	Asilidae
		Ichneumonidae	Stratiomyidae
		Tipulidae	Syrphidae
		Syrphidae	Hedriodiscus
		Hedriodiscus	Culicidae
		Drosophilidae	Coccinellidae
		Sulicidae	Carabidae
		Sciaridae	Chrysopidae
		Staphylinidae	
		Chalcidoidea	
		Toxomerus	
		Bombus_funebris	

Supplementary Material 2 - Experimental measuring insect management strategies

S2.1 Experimental setting

Experimental insect management strategies evaluated in our study at the plant level and management treatment at the field level. The yield parameters were measured and compared in relation to the three agricultural management strategies described in S2.1.

Plant level pollinator exclusion experiments: We followed the commonly used open/bagged protocol based on two treatments establishing pollinator exclusion of flowers by installing mesh bags and leaving uncovered the open treatment branches to allow insect visitation on flowers. For this part of the experiment we separately counted formed and abortive pods on the branch and formed and abortive seeds for each pod.

Plant level pod set: we surveyed the two branches of the open/bagged experiment from flower bud set to final pod harvest. For this part, we counted the initial number of pods/flowers (before anthesis phase) and the corresponding number of pods formed in the same branch.

Plot level yield outcomes: The selected plants were marked and surveyed for the hole crop cycle, we harvested and counted total number of pods, formed and abortive seeds and the total weight of seeds produced by plant. Weight and total formed seeds were here used as proxy of lupin production that is considered by farmers.

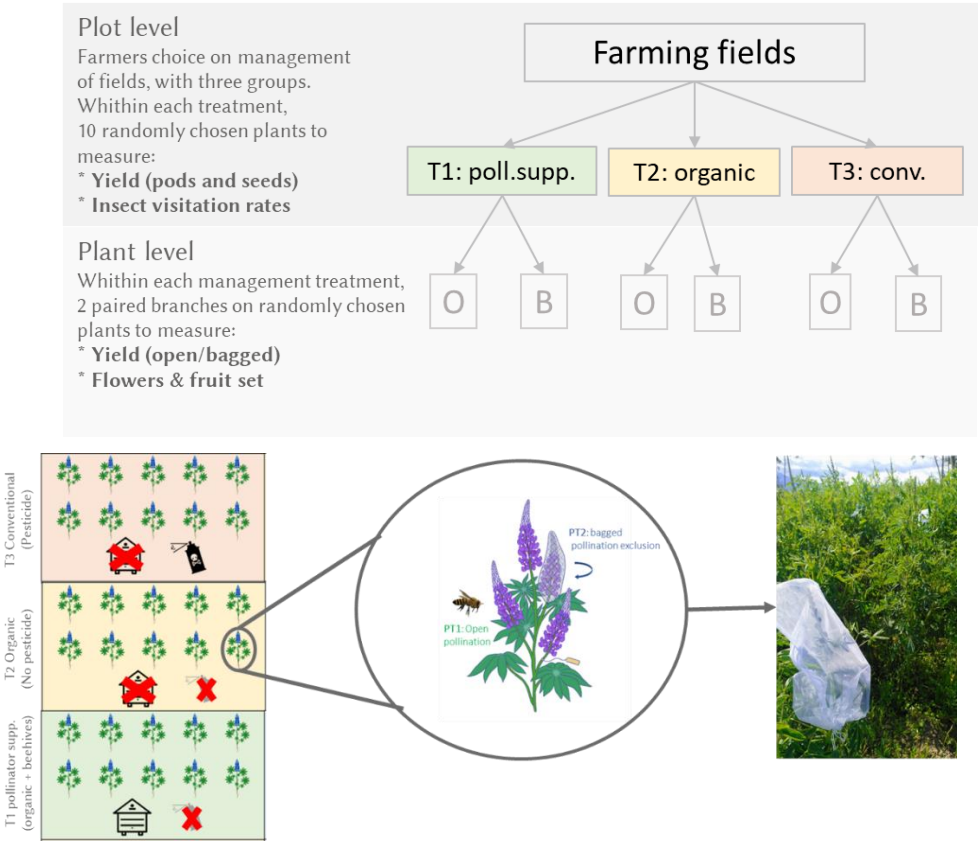


Figure S2.1 Experimental setting

We set the experimental plots within farmers' fields. Within each plot, we selected randomly 10 lupin plants displaying similar growth stage and height approaching the flowering period, in a radius at least 5 m apart. On each plant, one branch were excluded from insect pollination by bagging it with a fine mesh tulle net (mesh size: 2 by 2 mm), while the other branch was left unenclosed and open to insect pollination. Throughout the crop flowering period, we routinely adjusted the bags to ensure that only open flowers were covered. Data collection was carried continuously throughout the crop cycle of our study (2022-2023) on selected plants. We recorded initial number of flowers then final pod harvested on the same branch at harvest (final podset). Following farmers agricultural calendar, we harvested the marked plants and collected yield data, as shown in the table below.

S2.1 Measured yield parameters for the pollination experiment

Table S2.1 Recorded data from lupin plants on open and bagged branches and measured yield variables.

data	yield parameters
field data	pods formed
	pods abortive
	seeds formed
	seeds abortive
	seeds weight (g)
yield variables from analysis	seeds per pod one seed weight (g)
	mean weight for 100 seeds
	mean seeds for 100 plants
	mean seeds per pod for 100 plants

S2.2 Crop management strategies evaluated in the experimental fields

Farmers activities implemented for each crop management in lupin fields. We recorded activities and costs associated with the three insect management strategies, either for pest control or pollinators or other insects, by means of structured and semi-structured surveys, participant observation, and local information sources (e.g. markets, workers). Details on pesticide use are given in figure S2.2. Concerning beehive management (one hive per 1000 m) it comprised payment for the hive rental service agreed with a local beekeeper providing this service who has proven expertise in the region.

Table S2.2 Details on crop management strategies

management strategy	farming activities
organic	preparation of organic products (plant-based, mechanic)
	planting
	microbial pest control application (baculoviruses)
	soil preparation and weeding (30 days after sowing)
	reseeding and weeding (60 days after sowing)
	application of organic extracts for seed and plant protection/ pest and disease control (3, 10, 25, 30, 45 das)
	harvest
	post-harvest grain selection
conventional	preparation of seed coating with insecticide
	planting (seed coated)
	soil preparation and weeding with herbicide (30 and 60 days after sowing)
	reseeding and weeding with herbicide (35days after sowing)
	chemical/mineral fertiliser application
	preparation of pesticide application (mixtures of insecticide-fongicide and preparing fumigation equipments)
	pesticide application (insecticide, herbicide, fungicide)
	harvest
	post-harvest grain selection
Pollinator Supplementation	preparation of organic products (plant-based, mechanic)
	planting
	microbial pest control application (baculoviruses)

	soil preparation and weeding (30 days after sowing)
	reseeding and weeding (60 days after sowing)
	application of organic extracts for seed and plant protection/ pest and disease control (3, 10, 25, 30, 45 das)
	harvest
	post-harvest grain selection
	beehives setting on field
	checkup on bees and keeping good conditions of the hive (monitoring, cleaning, providing food when needed)

S2.2 Details on pesticide use for the conventional crop management

Details on Pesticide use for the conventional crop management type. Targeted pests, number of products used and number of times farmers spray during the crop cycle. Pesticide use depends on targeted pest for which chemical insecticides are used for pest management, including substances from 5 families (Neonicotinoids, Organophosphates, Carbamates, Pyrethroid and lamdacihalotrina).

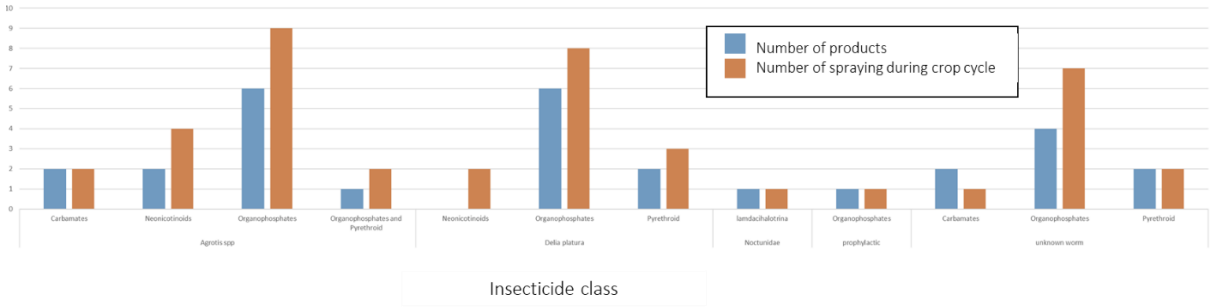


Figure S2.2 Details on pesticide use

S2.3 Recorded costs andeconomic data

Field data description of costs of inputs, operational, implementation and other costs for the three management strategies set in the participatory experiment. Data estimated for three additional possible strategies discussed with farmers. Economic data was calculated on the basis of experimental small plots (500m^2) and then extrapolated to farmers field area or scaled per hectare, units are indicated when it is the case.

Table S2.3 Economic data

	description
costs	operating expenses and structural expenses
implementation costs	once-off costs: including all costs incurred at the begining of implementing the lupin crop cycle (calclulated only for lupin fields, even when intercropped or mixed cropping cycles) [e.g. if farmers had to buy panga, wheelbarrow, hoe, rope, spraying machine either manual or mechanical)
operational costs	costs dealing with machinery, tools and equuipement used all along the crop cycle, for preparing the field, sowing, labouring and harvesting (including post-harvest processing like grain shelling, processing, but excluding costs of transportation or storage)
inputs	costs related to crop production including seeds, organic and chemical fertilizers and pesticides
labour	soil preparation[ridging/hilling, OM addition pre-sowing, fertilisation, crop protection (weeding, pest and disease control), harvest

S2.4 Yield parameters differences

Non-parametric statistical tests of mean values of yield parameters

Table S2.4 Yield parameters

variable	statistic (df =2)	p-value	method
mean seeds	2.94	0.229	Kruskal-Wallis
mean pods	12.6	0.001*	Kruskal-Wallis
mean seeds per pod	2.97	0.227	Kruskal-Wallis
mean seed weight (g)	>0.01	0.999	Kruskal-Wallis
mean productivity index	8.03	0.018*	Kruskal-Wallis
mean benefits	8.42	0.0148*	Kruskal-Wallis
mean profits per hectare	8.17	0.0168*	Kruskal-Wallis

Supplementary Material 3- Farmers' perceptions of insect functions in crops

Reported actions for taxa identified from previous freelist surveys and semi-directive surveys. More in-depth data was also collected from discussions with farmers on their knowledge and perceptions associated to agricultural entomofauna. Our multiperspective approach emphasizes the importance of holistic evaluation of farmers-insect interactions through positive and negative contributions that influence the decision-making processes of farmers. By focusing on this relationship, we propose a comprehensive assessment of the socio-ecosystem influencing the agricultural entomofauna management in smallholding farms. This approach is essential for understanding the diverse values associated with insects in agricultural systems and the challenges in implementing actions to support pollinators.

S3.1 insect functions cited by farmers

List of farmers' knowledge and perceptions of insect roles and abundances in the agricultural context

Table S3.1 insect functions

taxa id	generic local names	functions
Spider (not insect arthropod)	araña	bioindicator
		build webs
		pest control
		predation
Apis mellifera (Hymenoptera)	abeja	pollen transport
		pollination
		honey prod
		crop enhance
		hive prod
		flying/crawling around
		sucking flowers
		plant damage
		reproduction
		medicinal
Ichneumonidae (Hymenoptera)	avispa	harmless
	mosca	pest control
butterfly (Lepidoptera)	mariposa	sucking flowers
		flying/crawling around
		plant damage
		reproduction
		harmless
		pollination
moth (Lepidoptera)	polilla	harmless
		reproduction
		sucking flowers
		crop enhance
		plant damage
Agrotis spp. (Lepidoptera)	gusano	reproduction
	cogollero	sucking flowers
		harmless
		plant damage
		pest control
		bioindicator
Anthomyiidae (Diptera)	mosca	plant damage
	mosca del tallo	
	mosca plaga	
Astylus bourgeoisi (Coleoptera)	pilikitze	pest control
		sucking flowers
		plant damage
		harmless
Hemiptera	plaga de la papa	plant damage
Bombus spp (Hymenoptera)	abejorro	flying/crawling around
	bunga	honey prod
		pollination
		build honeycombs
		sucking flowers
		honey prod
		pollen taking
Coccinellidae (Coleoptera)	mariquita	pest control
		crop enhance
		flying/crawling around
		pest control
Bettles (Coleoptera)	escarabajo	farm animal feed
	catzo	bring rain

Syrphidae (Diptera)	abeja	pollen transport
	mosca	honey prod
		crop enhance
		pollination
		sucking flowers
		flying/crawling around
		harmless
Eristalis (Diptera)	abeja	honey prod
	mosca-abeja	hive products
		pollination
		pollen transport
		medicinal
		sucking flowers
		flying/crawling around
		plant damage
		harmless
		flying/crawling around
		soil processes
		bioindicator
		plant damage
common fly (diptera)	mosca	plant damage
		sucking flowers
Hummingbird (not arhtropod)	colibri	sucking flowers
	kinde	pollen transport
		flying/crawling around
		bioindicator
		pollination
Delia platura (Diptera)	mosca de la semilla	plant damage
		reproduction
Dermaptera	cachudo	plant damage
	tijeretas	
Tachinidae (Diptera)	mosca peluda	crop enhance
	mosca	pest control

QUATRIEME PARTIE

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE

6. DISCUSSION GENERALE

L'étude des dynamiques socio-écologiques de l'entomofaune agricole dans les systèmes de petite échelle dans les Andes tropicales fut l'objectif principal de cette thèse et notamment l'évaluation de plusieurs pratiques de gestion agroécologique pouvant mener à une réduction de l'usage des pesticides. Cet objectif m'a mené à m'intéresser aux compromis qui pourraient permettre de compenser ou d'améliorer les rendements en favorisant le service de pollinisation, pour faire face aux enjeux de déclin de la biodiversité dans les milieux agricoles, qui touche notamment les pollinisateurs. Une gestion intégrée d'insectes a été mise en place afin de comparer les impacts des pratiques sur les rendements agricoles et les revenus des agriculteur·ice·s de la région de la Sierra équatorienne. Nous avons, d'une part, dans le cadre du modèle de culture étudié du Lupin Andin (*Lupinus mutabilis*), implémenté une approche expérimentale pour évaluer le service de pollinisation. D'autre part, des analyses d'ethnosciences et d'écologie ont été combinées pour mieux comprendre l'influence des savoirs et perceptions des agriculteur·ice·s dans leurs pratiques bénéficiant les pollinisateurs, et déterminer ce qui pourrait les favoriser ou au contraire constituer des blocages pour leur mise en place et développement à des échelles plus larges. Un cadre d'évaluation multi-valeurs a été appliqué afin de prendre en compte la diversité des contributions de la Nature aux populations (Nature Contributions to People, NCPs), selon les catégories proposées par l'IPBES. Cette perspective transdisciplinaire a permis d'identifier les défis et les opportunités liées à la gestion de l'entomofaune pour mieux intégrer, à l'échelle locale, les savoirs scientifiques et locaux, ainsi que les processus écologiques et les dynamiques sociales.

Je propose, dans cette dernière partie, de discuter et de mettre en perspective les contributions, pratiques, méthodologiques et théoriques de ces travaux de thèse. Dans un premier temps, je reviendrai sur les services de pollinisation et la gestion des pollinisateurs comme stratégie pour l'amélioration des bénéfices écologiques et économiques dans l'agrosystème étudié. Dans la deuxième partie sera abordée l'importance de la méthodologie de terrain ethnoécologique pour la co-construction transdisciplinaire et les échanges entre systèmes de savoirs académiques, combinant sciences sociales et environnementales, avec les savoirs locaux, dans ce cas des agriculteur·ice·s, pour soutenir une agriculture durable et résiliente. Dans la dernière partie, j'aborderai à une échelle plus large la diversité bio-culturelle, en mettant en évidence l'importance d'une approche holistique pour la conservation des insectes et leurs contributions, apportant à la littérature globale sur la relation Humains-Nature et l'importance de cette relation dans les changements nécessaires face aux défis actuels de perte de biodiversité et de crise en agriculture.

6.1. Synthèse et articulation des résultats

Les apports de cette thèse s'articulent autour de trois objectifs scientifiques principaux et des résultats en découlant. Le premier objectif était d'établir une caractérisation et synthèse de la diversité de l'entomofaune agricole, ainsi que des fonctions, savoirs et perceptions qui y sont associées, à l'échelle globale (chapitre 2) et à l'échelle locale dans les Andes équatoriennes (chapitre 3, chapitre 4). Le deuxième objectif visait à développer une démarche transdisciplinaire pour caractériser et analyser les relations entre agriculteur·ice·s et entomofaune (chapitre 3, chapitre 4), en analysant l'importance de ces interactions dans les pratiques agricoles, principalement l'utilisation des pesticides et les pratiques favorables aux pollinisateurs (chapitre 4 et chapitre 5). Dans cet objectif, il était aussi question d'inscrire et catégoriser les contributions des insectes dans les milieux agricoles de petite échelle (chapitre 4) afin de favoriser des échanges égalitaires entre les savoirs scientifiques et locaux (chapitre 3), et de les intégrer dans un cadre de connaissances globales (chapitre 2 et chapitre 6). Le troisième objectif consistait à quantifier expérimentalement le service de pollinisation dans ce système agricole de petite échelle (chapitre 5), pour en évaluer les bénéfices en termes de rendements et de rentabilité économique. Cet objectif est complété par une analyse sur les valeurs et contributions matérielles et non-matérielles en vue de la gestion des pollinisateurs (chapitre 4 et chapitre 5). Ces objectifs permettent une approche holistique des défis et opportunités liés à la transition agroécologique, la pratique scientifique et l'articulation avec les questions de société face au déclin des insectes, soulignant l'importance de la collaboration transdisciplinaire et l'implication des agriculteur·ice·s dans la démarche scientifique (chapitre 2 et chapitre 6).

Synthèse et rappel des principaux résultats

Les résultats présentés dans les chapitres 3, 4 et 5 sont issus d'un travail de terrain engagé sur une période de 20 mois, et s'inscrivent principalement à l'échelle locale, tant pour les analyses écologiques (échantillonnage des insectes sur chaque parcelle), qu'agronomiques (rendements et revenus pour une culture pendant un cycle) et socio-culturelles (enquêtes et méthodes ethnoécologiques individuelles et en petits groupes d'agriculteur·ice·s). Dans les chapitres 2, 4 et 6, j'ai intégré des cadres d'analyse permettant d'inscrire ces résultats dans des réflexions globales sur la biodiversité et l'agroécologie, abordant les comportements, technologies et politiques les plus susceptibles de favoriser la conservation des insectes et les trajectoires vers une agriculture

plus durable (Figure 1). Je présente également les résultats résumés par des indicateurs selon les principaux résultats de chaque chapitre, pour les trois types de gestion dans la figure 1 ci-dessous.

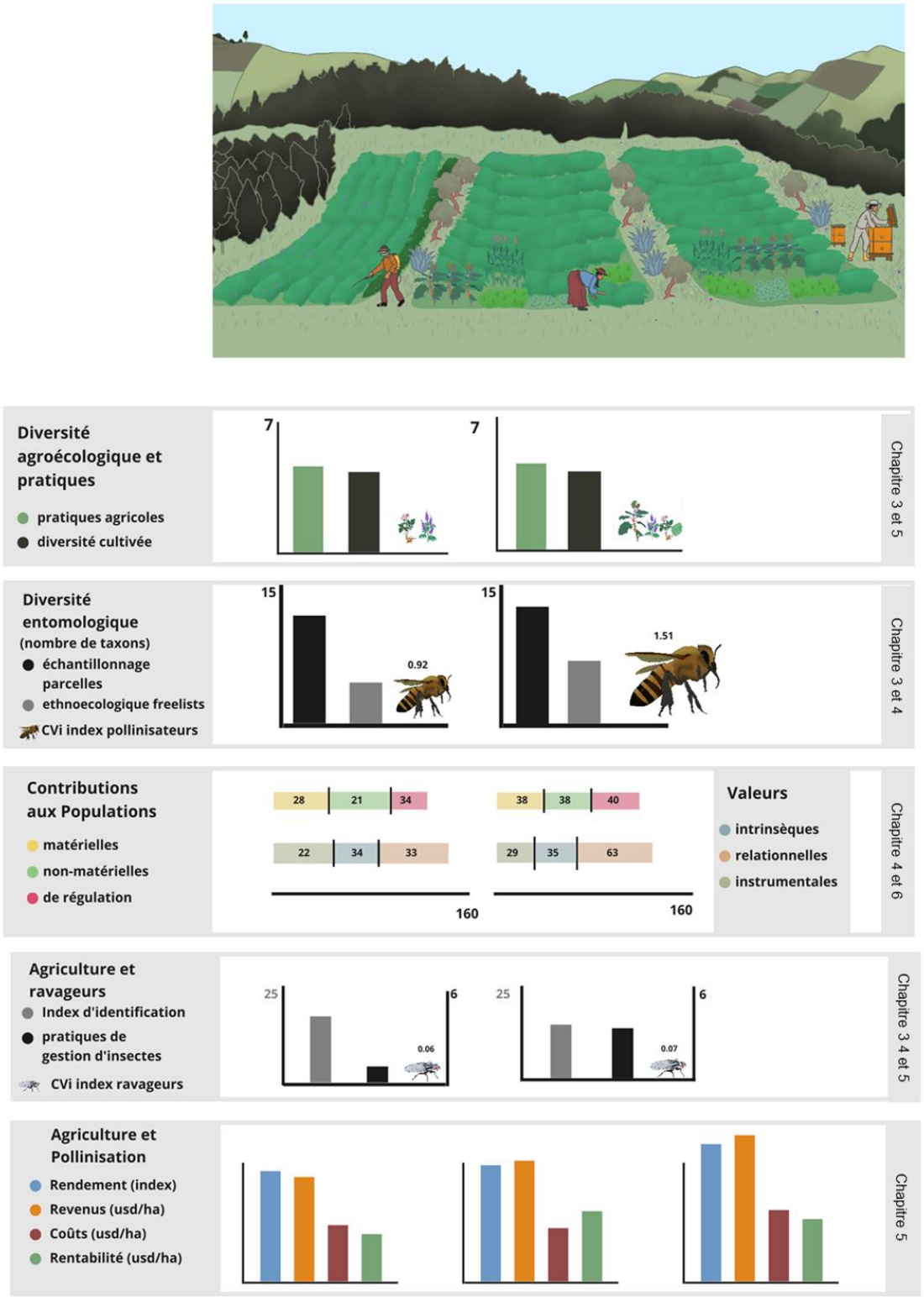


Figure 1 *- Résumé schématique des résultats des différents sujets abordés dans la thèse. L'objectif est de proposer une analyse transdisciplinaire visant à évaluer les dimensions écologiques, sociales et agronomiques des insectes, et leur rôle potentiel dans le développement des pratiques agricoles agroécologiques.*

Dans le deuxième chapitre, j'ai présenté le contexte de la recherche scientifique sur les arthropodes en me focalisant sur les insectes en milieu agricole. À travers d'une revue de la littérature récente sur les services et disservices écosystémiques (ESEDS), j'ai délimité le champ de recherche bibliographique aux systèmes agricoles de petite échelle (SHF) dans les pays à moyen et faible revenu (LMIC) afin de mieux cibler les lacunes à niveau global concernant ces contextes. Cette analyse de la littérature a mis en évidence un déséquilibre marqué quant aux données de terrain, en particulier dans les agroécosystèmes de petite échelle dans les pays à faible et moyen revenu, qui restent sous-représentés dans la littérature scientifique globale. Seulement 9% des études sur les ESEDS concernant les insectes portaient sur les contextes agricoles, avec une proportion encore plus faible (0,34%) consacrée aux contextes des SHF, malgré leur importance démographique et sociale cruciale dans de nombreuses régions du monde. De plus, ces résultats ont montré une tendance orientée vers les services de régulation, tels que les dégâts causés par les ravageurs et leur contrôle. Cette focalisation peut refléter une perception biaisée du rôle des insectes en agriculture, en négligeant d'autres fonctions importantes, comme les services culturels (minoritaires dans les études tant à l'échelle globale que pour les LMIC). En outre, dans ce chapitre je me suis intéressée aux pratiques de recherche impliquant les agriculteur·ice·s, qui s'est avérée faible dans la plupart des cas. Les recherches actuelles ont également une tendance à privilégier les approches monodisciplinaires principalement à l'échelle des parcelles et peu à l'échelle du paysage. Cette observation a conforté l'importance de renforcer la collaboration entre les scientifiques et les agriculteur·ice·s pour mieux intégrer les connaissances locales dans la recherche.

Dans le troisième chapitre, les savoirs locaux des agriculteur·ice·s sur les insectes ont été caractérisés ainsi que leurs différences selon les pratiques agricoles. Les agriculteur·ice·s organiques ont montré avoir des connaissances entomologiques plus élargies, avec des listes plus diversifiées, et des index de saillance plus élevés pour les taxons des pollinisateurs. Dans ce chapitre, ont été également mis en évidence les différences entre les savoirs locaux des agriculteur·ice·s et les catégories taxonomiques scientifiques. Pour le groupe d'agriculteur·ice·s organiques, les communautés d'insectes sont plutôt caractérisées sur des critères morphologiques et écologiques détaillés. Ces systèmes de classification semblaient basés sur la proximité et l'observation attentive pendant les activités aux champs et lors d'échanges sociaux réguliers au sujet des insectes (obs. pers.). En comparant les systèmes de classification, le groupe organique présentait une identification plus précise des stades larvaires sur des aspects phénologiques et biologiques des espèces de ravageurs (e.g. leur localisation dans une parte spécifique de la plante à un moment donné, comme '*gusano de la hoja*' – ver de la feuille), et en associant aussi une diversité plus large de fonctions écologiques (positives et négatives) à plus de

taxons d'insectes différents (e.g. des fonctions d'interactions plante-insecte, ou insecte-insecte). Malgré une abondance similaire de ravageurs entre les différents types de champs, les diptères étaient surreprésentés dans les listes des agriculteur·ice·s conventionnel·le·s, avec moins de détails sur leur identification (simplement mentionnés comme "*mouche*" ou "*ver*"). Les résultats de notre analyse comparative de la diversité des parcelles (freelists – champs) ont aussi montré d'importantes divergences entre les perceptions et les données de piégeage entomologique. Ainsi, nous avons constaté des abondances équivalentes (i.e. taxons autant très mentionnés que nombreux individus relevés sur les pièges) pour *Apis mellifera*, *Astylus sp*., deux familles de diptères (*Agromyzidae* et *Anthomyiidae*), ainsi que des lépidoptères. En contraste, d'autres hyménoptères (i.e. pollinisateurs autres que les abeilles) ainsi que de nombreux diptères parasites et prédateurs capturés dans les pièges entomologiques, ont été peu mentionnés (e.g., *Bibionidae*, *Tachinidae*). Dans le chapitre 2, nous avons pu relier les systèmes de savoirs et de perceptions avec les préoccupations et intérêts sur les actions de gestion agricole. A nouveau, les réponses étaient divergentes entre les deux groupes, bien que les agriculteur·ice·s partageaient des préoccupations similaires en termes de qualité et quantité des récoltes. Dans le groupe conventionnel, la lutte contre les ravageurs a été plus fréquemment mentionnée comme motivation principale pour la gestion des insectes, alors que pour le groupe organique, c'était l'amélioration de la quantité et de la qualité des produits la raison privilégiée, ainsi que la pollinisation. Les agriculteur·ice·s organiques ont, en plus, accordé de l'importance à d'autres facteurs écologiques tels que les habitats environnants et la biodiversité des plantes cultivés et non-cultivées.

Dans le chapitre 4, une analyse récapitulative des contributions des insectes dans les systèmes agricoles a été réalisée, et s'appuie sur le cadre conceptuel de l'IPBES et les contributions de la Nature aux populations (NCPs). Dans l'ensemble, les agriculteur·ice·s ont rapporté 243 contributions identifiées dans 10 des 18 catégories du cadre général de l'IPBES. Ces contributions variaient selon les guildes d'insectes et différaient entre les groupes d'agriculture conventionnelle ou organique. En fonction des stades de développement, certains insectes étaient associés à des contributions à la fois positives et négatives, tandis que d'autres étaient considérés comme neutres. Nos résultats ont revelé que les agriculteur·ice·s organiques montraient un intérêt plus marqué pour les contributions non-materielles et de régulation, tandis que pour les conventionnel·le·s les contributions matérielles, surtout négatives, étaient prépondérantes. Pour mieux représenter les différences de perception et des valeurs associées aux différents taxons, nous avons proposé un indice des valeurs culturelles (CVi), qui comporte aussi la diversité des catégories de contributions (NCPs), au-delà des indices traditionnellement utilisés en ethnoécologie comme la sallience ou la fréquence. Cet index nous a permis de mieux analyser les

différences selon les types d'insectes définis dans le système de savoir local, qui étaient particulièrement marquées en ce qui concerne les pollinisateurs, avec plus de méfiance envers les insectes chez les agriculteur·ice·s du groupe conventionnel, et qui se reflétait aussi par une plus forte valeur de l'indice CVi pour les pollinisateurs chez les agriculteur·ice·s organiques. En ce qui concerne les liens entre les systèmes de savoirs et les valeurs associées à l'entomofaune, notre analyse a révélé que les agriculteur·ice·s attribuaient des valeurs instrumentales aux insectes, en particulier dans les parcelles traitées avec des pesticides, tandis que les parcelles sans pesticide, avec ou sans ruches, mettaient davantage l'accent sur les valeurs intrinsèques, relationnelles, esthétiques et symboliques. Ces mêmes résultats mettent en lumière l'importance de la diversité et les particularités des fonctions et contributions aux sociétés de l'entomofaune agricole, souvent négligées dans les analyses de type services écosystémiques ou exclusivement économiques.

Enfin, à partir des résultats de la partie expérimentale dans le chapitre 5, nos avons comparé trois types de gestion agricole (traitement conventionnel avec pesticides, organique sans pesticides et organique avec supplémentation de pollinisation par ruches d'abeille domestique) tant pour la diversité des insectes, les visites florales et les rendements. En ce qui concerne la diversité des insectes, les parcelles traitées avec des pesticides ont montré une légère diminution de la richesse spécifique par rapport aux parcelles sans pesticide et celles avec des ruches. L'activité des groupes d'insectes focaux visitant les fleurs, en particulier celui des diptères, a été plus faible sur les parcelles avec pesticides, mais avec moins d'impact pour celle des abeilles domestiques. Les parcelles traitées avec des pesticides ont également enregistré moins de visites de bourdons que les autres traitements. Par ailleurs, nos résultats ont montré une augmentation significative du rendement sous effet de la pollinisation par rapport aux parcelles sans ruches et celles avec pesticides – entre 20 et 41 % - traduisant une dépendance de pollinisation modérée pour la culture du lupin (sensu Klein et al. 2007, voir aussi Siopa et al. 2024) comme c'est le cas d'autres espèces de fabacées. Ces résultats traduisent une augmentation du rendement par la formation d'un plus grand nombre de gousses, mais sans effet sur le nombre de graines par gousse ni le poids des graines. Les résultats de l'analyse économique ont révélé que les coûts associés à la location des ruches pour le service de pollinisation pourraient ne pas compenser les bénéfices dans le revenu final, en raison de la complexité de l'ensemble du système de production agricole, au-delà de la culture évaluée ici, le Lupin andin. Par la suite, des discussions ont été menées avec les acteurs locaux concernant les alternatives qui pourraient offrir une meilleure compensation des coûts et des effets positifs sur les revenus. Les scénarios évoqués incluent le partage des coûts de location de ruches et une meilleure rémunération des produits issus de ce type de production. Ainsi, notre travail expérimental represente également une base pour d'autres analyses élargies,

à l'échelle du paysage, qui pourraient permettre de mieux aborder la forte hétergoeneité spatiale et temporelle des systemes agricoles de petite échelle.

6.2. Contributions principales et implications des résultats

Gestion des insectes et de la pollinisation pour réduire l'utilisation des pesticides

La gestion des insectes et de la pollinisation est un levier crucial pour réduire l'utilisation des pesticides en agriculture (Brown & Cunningham, 2019; Goulson, 2020; Outhwaite et al., 2022). Dans notre étude, la diversité des insectes (richesse spécifique) n'était pas significativement différente entre les parcelles avec ou sans pesticides, probablement en raison de la structure même des systèmes agricoles d'altitude, et par la dispersion des champs organiques au sein d'une matrice composée majoritairement de champs conventionnels. En outre, le facteur de la taille des parcelles rendrait difficile de discerner les effets de la non-utilisation des pesticides à cette échelle-là. Comme attendu, ont été observés plus de visites d'*Apis mellifera* dans les parcelles où étaient placées des ruches. Le service de pollinisation a favorisé de façon significative la formation des gousses, une fonction qui était réduite dans les champs utilisant des pesticides. Plusieurs réflexions découlent de ces résultats. D'abord, l'utilisation des pesticides n'a pas réduit de façon significative les espèces ciblées, les diptères ravageurs des feuilles et des tiges des familles *Agromyzidae* et *Anthomyiidae*. Alors que leur utilisation peut réduire les rendements en supprimant le service de pollinisation, augmentant ainsi le déficit de pollinisation (Hanley et al., 2015; Vaissière et al., 2010). Cela est particulièrement vrai pour les pesticides à large spectre, utilisés même à des fins prophylactiques, et les pesticides systémiques néonicotinoïdes, qui sont de plus en plus employés dans le pays (Brühl & Zaller, 2019; Geiger et al., 2010; Heinrich-Böll-Stiftung, 2022). Dans notre cas d'étude, les pesticides utilisés étaient majoritairement de type organophosphates qui perturbent la transmission nerveuse, entraînant paralysie et mort des insectes. Les néonicotinoïdes, bien que moins fréquemment cités dans notre étude, sont appliqués dans des contextes variés (enrobage de semences, pulvérisation foliaire ou stockage), reflétant leur généralisation dans la gestion des ravageurs (Andrade-Rivas et al., 2023; Lundin et al., 2015; Sarkar et al., 2021). Il est démontré que les néonicotinoïdes ont des effets délétères sur les abeilles et autres hyménoptères importants pour la pollinisation, perturbant leur navigation, leur capacité à trouver de la nourriture et à communiquer avec les autres membres de la colonie, et pouvant même entraîner le collapse des colonies (Blacquière et al., 2012; Godfray et al., 2014; Stanley et al., 2015). En Équateur, l'agriculture dépend de plus en plus de cette classe de pesticides, principalement utilisés pour contrôler les lépidoptères et diptères à divers stades de

développement (Andrade-Rivas et al., 2023; Struelens et al., 2022). Ces questions méritent des études de suivi sur le long terme tant par rapport à l'agriculture, les populations des pollinisateurs, mais aussi les effets sur la santé humaine.

Pour répondre à ces défis et aux déficits de rendement, l'approche de la gestion intégrée des pollinisateurs (*integrated pest and pollinator management,* IPPM) émerge comme une option pour réduire l'utilisation des pesticides tout en cherchant à maximiser les bénéfices de la pollinisation (Biddinger & Rajotte, 2015; Egan et al., 2020). Nos résultats confirment un effet de la pollinisation sur les rendements pour le lupin andin, bien que ces effets ne se traduisent pas toujours en gains économiques optimisés, soulignant la complexité des interactions sur les rendements et les résultats économiques dans les systèmes agricoles de petite échelle (Elisante et al., 2020; Sagwe et al., 2021). Dans ce contexte, bien que des systèmes avec moins de surface cultivée et plus diversifiés puissent être moins productifs à l'hectare, leurs avantages environnementaux pourraient compenser une moindre productivité (Altieri, 2008; Elisante et al., 2020; Sagwe et al., 2021; Uwingabire, 2021). Dans ce sens, nos résultats expérimentaux peuvent aussi suggèrer qu'une variabilité plus faible des rendements dans des parcelles avec ruches pourrait favoriser une certaine stabilité temporelle de l'agrosystème, au-delà d'une seule culture (Nielsen et al., 2017; Sagwe et al., 2021; Steward et al., 2014; Uwingabire, 2021).

En ce qui concerne les bénéfices économiques, nos résultats soulignent aussi des potentialités dans des scénarios d'amélioration du rapport coût-efficacité et coût-bénéfice, qui mériteraient d'être explorés par ailleurs. En effet, la location partagée entre voisins ou le fait de posséder individuellement ou collectivement les ruches pourraient améliorer al rentabilité globale des stratégies impliquant leur installation et leur maintien. De même, les résultats soulignent l'importance d'une meilleure rémunération pour les produits issus de pratiques favorisant les pollinisateurs (**pollinator-friendly*), comme pourraient être des prix de vente plus élevés des produits agricoles ou l'accès à des subventions ou des assurances de revenu communs, ce qui, malgré l'augmentation des coûts, seraient compensée par une notable augmentation finale des bénéfices (Faure et al., 2023; Garibaldi, Dondo, Hipólito, et al., 2016; Kroeger & Casey, 2007; Pino Andrade, 2017). Dans notre étude, l'augmentation du rendement agricole observée pourrait s'accompagner de la mise en valeur d'autres apports essentiels pour les populations locales, comme nous l'avons vu pour les contributions non-materielles. Par exemple, l'accès limité à la formation sur la gestion des pollinisateurs et les faibles collaborations entre voisins peuvent compromettre ces aspects essentiels dans les échanges sociaux (Giraldo, 2018; Goulet et al., 2023). Ainsi, la question des politiques accompagnant le développement des stratégies de gestion des pollinisateurs devient essentielle (Lwoga et al., 2010; McCracken et al., 2015). Elle doit soutenir non seulement la maximisation des rendements économiques immédiats, mais aussi la

promotion de ces pratiques et les structures sociales qui renforcent la résilience et la durabilité à long terme des systèmes agricoles (Giraldo, 2018; Goulet et al., 2023; Lwoga et al., 2010; Tittonell, 2020; Tittonell & Giller, 2013).

Apports méthodologiques pour une recherche transdisciplinaire et la promotion des échanges entre systèmes de savoirs

Les changements environnementaux et sociaux dans les systèmes agricoles, ainsi que la formulation des politiques favorisant la biodiversité et le bien-être des populations rurales nécessitent une interaction efficace entre les savoirs scientifiques (écologiques et sociaux) et les savoirs locaux (Cash et al., 2003; Dangles et al., 2010; Struelens et al., 2022). Ce travail de thèse, en s'appuyant sur les insectes comme leviers de changement, présente une contribution méthodologique transdisciplinaire pour tracer une voie commune vers une agriculture durable. Il peut être rappelé que la transdisciplinarité intègre les perspectives et les savoirs académiques et non-académiques de diverses disciplines et parties prenantes et favorise des échanges où le savoir expérientiel des agriculteurs enrichit l'analyse scientifique et vice-versa (Lang et al., 2012, Mauser et al. 2013). Dans ce contexte, une contribution majeure de notre démarche transdisciplinaire est la reconnaissance de la diversité des savoirs entomologiques ainsi que des valeurs qui influencent les intentions et les actions des agriculteur·ice·s. A partir de nos résultats, nous avons pu proposer une caractérisation des savoirs ethnoentomologiques et mettre en perspective une application dans le dialogue entre écologie et agriculture. D'autre part, nous avons mis en évidence l'importance de recenser et catégoriser l'ensemble des contributions et des valeurs attribuées aux insectes dans ces contextes agricoles de petite échelle, et de souligner leur utilité pour l'articulation d'actions communes, comme celles en faveur des pollinisateurs (Irvine et al., 2016; A. Martin et al., 2024). Ces deux points seront discutés brièvement ici.

Comme il a été montré dans le chapitre 2, dans les systèmes de savoirs locaux peuvent coexister des catégories taxonomiques, parfois déphasées de la taxonomie linnéenne, mais qui peuvent s'avérer autant ou plus pertinentes pour une gestion agroécologique locale et une communication efficace entre les scientifiques et les populations locales. Nous avons pu identifier, par exemple, la potentialité de certains taxons en tant qu'indicateurs hybrides en nous appuyant sur les connaissances des agriculteur·ice·s (Albuquerque et al., 2021; Liebig et al., 2016). Dans notre cas, la diversité des insectes pourrait être un indicateur de changements bien établi et partagé entre les agriculteur·ice·s, lorsque leur présence ou abondance est associée à une certaine humidité ou qualité du sol. Par exemple la présence de certains coléoptères (*Scarabaeidae*), a souvent été évoquée comme un présage de pluie et donc d'une production agricole favorable. D'autres taxons comme les abeilles, les papillons et les syrphes ont aussi été évoqués comme indicateurs sensibles des changements d'utilisation des sols en raison de leurs besoins spécifiques

en ressources florales (« *ce papillon bleu on ne le voit plus depusi qu'il n'y a plus beaucoup de plantes de Salvia comme avant* »). Par ailleurs, comme certains insectes peuvent être identifiés par des ethnotaxons génériques ou à l'espèce aussi bien par les spécialistes que par les agriculteur·ice·s, ces groupes peuvent être mobilisables dans des mesures de suivi écologique. Sur le plan éthique, de telles pratiques permettent également de construire des savoirs entomologiques partagés et intégrés, plus égalitaires (Liebig et al., 2016; Trisos et al., 2021), sans blâmer la prétendue ignorance des agriculteur·ice·s face à l'expertise des scientifiques, ce qui est courant dans les études d'entomologie agricole (Bentley, 1989; Wyckhuys et al., 2019).

Le cadre conceptuel de l'IPBES a été utilisé pour étudier la façon dont les agriculteur·ice·s perçoivent les insectes, ainsi que les caractéristiques qu'ils et elles en apprécient. Cela a permis par la suite de caractériser en détail les contributions aux populations (NCPs) fournies par l'entomofaune et de dépasser les approches restrictives et moins opérationnelles fondées sur une seule valeur (Arias-Arévalo et al., 2018; Cooper et al., 2016; Jacobs et al., 2016) ou sur des catégorisations dichotomiques bénéfique/nuisible ou ravageurs/pollinisateurs traditionnellement mobilisées en agronomie et en écologie. Nos résultats montrent que les agriculteur·ice·s de la Sierra équatorienne reconnaissent et considèrent une grande diversité de rôles des insectes, et qu'ils et elles en attribuent une importance significative des valeurs intrinsèques et relationnelles, très peu étudiées dans la littérature globale sur le sujet, et encore moins en ce qui concerne l'entomofaune agricole (chapitre 2). Cela permettrait d'ouvrir la voie, par exemple, à des outils politiques non contraignants qui pourraient également promouvoir des pratiques favorisant les pollinisateurs pour des raisons culturelles et morales, au-delà des seules incitations monétaires (valeurs instrumentales) (Giraldo, 2018; Kleijn et al., 2015; Meza, 2014; Pimbert, 2017; Pino Andrade, 2017).

En articulant les résultats de ces études sur les savoirs entomologiques et les valeurs différentes dans les deux groupes d'agriculteur·ice·s, il est nécessaire de s'intéresser aux critères d'évaluation qui les structurent (Faria & Mollett, 2016; Jacobs et al., 2016). Ainsi, à partir de l'identification des taxons à plus forte importance culturelle, il a été remarqué que certaines contributions étaient plutôt associées à des valeurs esthétiques, comme dans le cas du plaisir tiré de l'observation des pollinisateurs, en particulier des espèces plus grandes et plus visuellement remarquables (Arias et al., 2019; Manesi et al., 2015). La taille, les couleurs, l'attrait esthétique ou le caractère distinctif d'une espèce ne devraient-ils pas influencer les décisions relatives à la préservation de la biodiversité ? Bien que certaines personnes puissent éprouver du plaisir à nuire aux insectes en réponse de leur repulsion envers eux (Leandro 2023), cette forme de valeur d'agrément a souvent peu de poids face aux critères économiques.

L'évaluation de certains facteurs culturels d'un point de vue instrumental reste complexe lorsqu'il ne s'agit pas d'en faire des transactions. Par exemple, des sentiments tels que l'admiration ou celui d'appartenance s'apparentent davantage à des expériences spirituelles (Cooper et al., 2016; Hoelle et al., 2023; Morris, 2004). Essayer de leur donner un prix ne permettait pas d'en saisir la véritable signification. Aussi, semble-t-il préférable d'employer d'autres approches pour prendre en compte différentes valeurs, tels que des indices multi-critères (Morales & Perfecto, 2000; Pacheco Huaiquifil, 2022; Pramova et al., 2022). Cette question est cependant complexe car l'évaluation d'une « *chose* » est liée à la connaissance que l'on en a et que des informations fausses ou parcellaires peuvent conduire à exclure certaines valeurs. Par exemple, si certains agriculteur·ice·s ont une perception négative des syrphes parce qu'ils ou elles croient à tort qu'ils possèdent des dards (et qu'ils peuvent donc les piquer), cette perception négative doit-elle être prise en compte ? De plus, qu'en est-il du manque d'appréciation des syrphes en raison d'une mauvaise compréhension de leur rôle dans la pollinisation ? Faut-il plutôt considérer la valeur hypothétique que les agriculteur·ice·s accorderaient aux syrphes s'ils·elles étaient mieux informé·e·s ?

Les résultats de cette thèse ont démontré que la réalisation d'un changement transformateur en agriculture nécessite l'activation d'un ensemble de leviers centrés sur les valeurs (Pascual, Balvanera, Anderson, et al., 2023; Pascual, Balvanera, & Christie, 2023) ; dans notre étude de cas, afin de faire face au déclin global des insectes. Pour y parvenir, il serait donc essentiel de tenir compte du rôle des valeurs de l'entomofaune dans la prise de décision à différentes échelles et de déterminer comment les méthodes d'évaluation peuvent guider ces décisions de manière efficace. Cela pourrait être applicable dans ce cas, pour la réduction des pesticides et la transition agroécologique à différents niveaux, par des politiques publiques favorisant la collaboration entre agriculteur·ice·s et la formation sur la gestion des pollinisateurs (Carson, 1962; Morris, 2004; Mouysset, 2023; Pacheco Huaiquifil, 2022; Puleo, 2011). Ainsi, les travaux présentés dans cette thèse s'inscrivent comme des premiers apports dans un processus de changement transformateur vers des systèmes agricoles plus diversifiés et durables, visant quatre points de levier centrés sur les valeurs (Figure 2). Suivant l'outil de l'IPBES, il est possible d'y identifier l'articulation des valeurs de la nature dans les décisions environnementales par: i) reconnaître la diversité des valeurs de la nature grâce à des évaluations approfondies, ii) intégrer ces valeurs dans les processus décisionnels, iii) réformer les politiques, les lois et les institutions en fonction de ces valeurs, et iv) ajuster les normes et objectifs sociétaux pour soutenir la durabilité (IPBES 2020). Dans ce cadre, les apports sur l'évaluation multiple réalisée dans notre système d'étude représentent des points de levier dans les premiers niveaux, contribuant à identifier, reconnaitre et intégrer ces valeurs multiples et les actions associées dans la suite du

processus. Ceux-ci renseignent et servent de base aux processus institutionnels, politiques et sociétaux à plus large échelle qui permettent la transposition à plus large échelle des mesures visant des systèmes socioécologiques plsu durables.

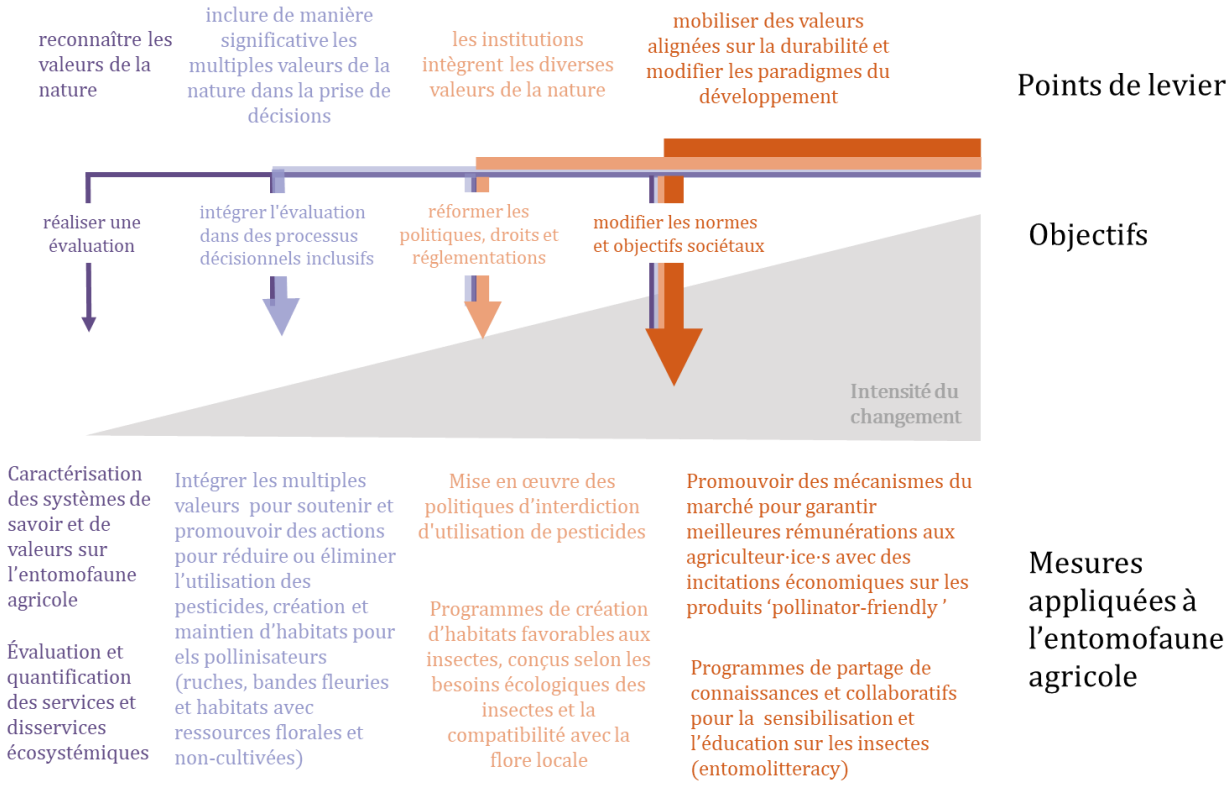


Figure 2 *- Schéma permettant d'interpréter les apports de cette thèse, structurés dans les deux premiers niveaux (couleur mauve) dans le processus des changements transformateurs (adapté de IPBES 2020).*

Importance de la diversité bioculturelle et la conservation des insectes, notamment les pollinisateurs

Le développement des approches méthodologiques et pratiques de cette thèse concernant l'entomofaune des milieux agricoles constitue un apport novateur qui s'inscrit dans l'objectif d'explorer et soutenir des pratiques inhérentes aux agroécosystèmes plus durables. Je propose donc pour cette dernière partie de replacer ces apports dans le cadre global des NCPs de l'IPBES et d'analyser les résultats sous le prisme de la diversité bioculturelle dans un objectif de conservation des pollinisateurs face au déclin des insectes.

Dès lors qu'on s'intéresse aux savoirs écologiques locaux des agriculteur·ice·s, il est nécessaire de tenir compte de la particularité des agroécosystèmes en tant qu'espaces anthropisés résultant des interactions humains–environnement où une longue cohabitation et coévolution a produit des connaissances et des pratiques locales essentielles à la gestion adaptative des systèmes agricoles, des ressources naturelles et des paysages (Berkes et al., 2000; Pimbert, 2017).



Figure 3 *- Représentation de la diversité bioculturelle de l'entomofaune agricole pour l'agriculture conventionnelle (à gauche) et organique (droite). La taille des insectes est représentative de la saillance et du nombre de contributions listées par les agriculteur·ice·s. Les insectes en couleurs plus claires représentent ceux présents sur les parcelles mais non mentionnés par les agriculteur·ice·s.*

Dans le cas étudié ici, la diversité bioculturelle a été mesurée tant par l'échantillonnage entomologique que par les savoirs et pratiques des agriculteur·ice·s. Il a été relevé une dominance plus marquée des diptères et une moindre diversité parmi les pollinisateurs dans les parcelles conventionnelles, par rapport aux parcelles sans pesticide où l'on a enregistré plus d'espèces des lépidoptères, hyménoptères et diptères.

Ce résultat était cohérent avec les résultats des freelisting, et des NCPs, où les agriculteur·ice·s conventionnel·le·s rapportaient moins de NCPs sur un plus petit nombre de taxons et une plus grande proportion de contributions négatives (Figure 3). Ces résultats suggèrent l'hypothèse d'une tendance à l'homogénéisation de la diversité bioculturelle pouvant affecter la résilience et la stabilité des agroécosystèmes avec le déclin des insectes ainsi que la transformation des savoirs et pratiques locaux (Berkes et al., 2000; Faye, 2020). Mais, par ailleurs, notre étude laisse aussi supposer que dans certains cas, des savoirs traditionnels et technologiques se sont intégrés, démontrant que dans un contexte aussi complexe, ces savoirs ne s'excluent pas nécessairement l'un l'autre, et qu'au contraire s'articulent autour des savoirs hybrides qui s'adaptent aux changements, permettant potentiellement de construire des systèmes agricoles plus résilients (Cash et al., 2003; Reyes-García et al., 2014; Shapiro-Garza et al., 2020). Il est donc essentiel de promouvoir les échanges et l'intégration des systèmes de savoir locaux et scientifiques sur l'entomofaune en soutenant les communautés agricoles qui participent au maintien de la diversité (Albuquerque et al., 2021; Altieri, 2004; Tengö et al., 2014; Weiskopf, 2020).

Apports et perspectives pour la conservation des insectes

Les dynamiques des relations aux insectes révélées dans cette thèse confirment l'importance d'intégrer diverses perspectives pour mieux activer les leviers de changement potentiels à travers les stratégies en réponse, en ciblant spécifiquement certaines NCPs (Figure 2). D'après nos résultats, les actions ayant un impact sur les valeurs instrumentales et relationnelles seraient vecteurs d'actions face à la diminution de ces NCPs, ou bien, par les effets positifs en cascade de la présence des pollinisateurs, par leurs contributions non-matérielles, y compris les valeurs esthétiques et pour la santé humaine (IPBES, 2016). Ainsi, il serait possible de reconnaître les contributions non-matérielles associées aux pollinisateurs pour prioriser leur conservation, en mettant en œuvre des pratiques agricoles permettant de réduire la dépendance aux pesticides (Cappellari et al., 2023; Hall & Martins, 2020; Scherr & McNeely, 2007). Au-delà des contributions, lorsqu'on s'intéresse à la question des valeurs en comparant les deux groupes d'agriculteur·ice·s, les différences les plus marquées concernaient les pollinisateurs et leurs valeurs non-matérielles. Bien que les deux groupes reconnaissaient les valeurs négatives des ravageurs, le groupe conventionnel attribuait davantage de valeurs négatives aux pollinisateurs (dangerosité des piqûres et valeurs esthétiques négatives). Afin de limiter cette discordance, il serait possible de favoriser des échanges entre agriculteur·ice·s, qui intégreraient également les savoirs académiques. Un tel processus pourrait constituer une opportunité de créer des savoirs hybrides adaptés aux contextes agricoles andins dans le but de retrouver des valeurs et contributions communes (Busse et al., 2021; Lwoga et al., 2010; Martin et al., 2024).

Enfin, nos résultats sont en accord avec les réflexions sur l'importance de certaines espèces étendards comme les abeilles (*flagship species* ou *umbrella species*) qui permettent d'attirer l'attention du grand public sur le déclin des pollinisateurs (Barua et al., 2012; Hall & Martins, 2020; Leandro & Jay-Robert, 2019; Lemelin, 2013). Cette thèse est aussi une contribution à réfléchir à la façon dont les systèmes globaux de savoirs et des valeurs peuvent être intégrées dans les efforts de conservation au-delà des préoccupations matérielles ou des bénéfices pourvus par les insectes aux humains (IPBES, 2016; Kleijn et al., 2015; Mugnier, 2023). Ainsi, en reconnaissant des obligations des humains envers les insectes et envers la Nature, par la réciprocité, il s'agit aussi de repenser la façon dont la société (et pas seulement les agriculteur·ice·s), peut mieux prendre soin des écosystèmes, tout en soutenant un engagement envers le bien-être des autres espèces, y compris celles moins visibles et moins souvent associées aux communautés humaines comme les insectes et les invertébrés (Descola, 2015; Hall & Martins, 2020; Leandro & Jay-Robert, 2019; Lockwood, 1987, 1988; Maderson & Elsner-Adams, 2024; Piccolo et al., 2022).

6.3. Limites et nouvelles questions de recherche

La recherche expérimentale menée sur le terrain nous a permis de soulever certains défis et limites de l'approche de gestion intégrée des ravageurs et des pollinisateurs qui seront abordéés ici. Comme nous l'avons évoqué en introduction, la recherche sur les dynamiques entre production agricole et pollinisateurs est un enjeu majeur à l'échelle globale. Le besoin d'évaluer le risque de pertes dues à la diminution ou la disparition des pollinisateurs est limitée autant dans la traduction vers des valeurs économiques, (Bauer & Sue Wing, 2016; Breeze et al., 2016; Hanley et al., 2015) que sur les niveaux de dépendance des rendements vis-à-vis des espèces (i.e. la proportion de pollinisation effectuée par les espèces gérées et sauvages) (Garibaldi et al., 2018; Requier et al., 2023). Lors de la mise en œuvre de mesures de pollinisation sur des parcelles en conditions réelles, le niveau d'incertitude lié aux facteurs environnementaux reste élevé (Bartholomée & Lavorel, 2019; Garibaldi et al., 2018; Melathopoulos et al., 2015). Cependant, ces paramètres écologiques ont tendance à être traités comme des constantes alors qu'ils devraient être considérés comme dynamiques et contextuels, surtout dans des paysages écologiquement et socialement divers, comme c'est le cas dans les Andes tropicales (Garibaldi et al., 2020; Pereponova et al., 2023; Steward et al., 2014).

Complexité des paysages et diversité fonctionnelle

En tant que levier pour la transition agroécologique, la pollinisation a été abordée dans cette étude par son potentiel à réduire la dépendance aux pesticides, favorisant la diversification des pratiques et la diffusion des savoirs liés à leur gestion et protection. Cependant, la pollinisation gérée à l'aide de ruches d'*Apis mellifera* comporte des risques et menaces à prendre en considération. Dans notre cas d'étude il s'agit d'une espèce exotique introduite par les européens et bien qu'elle se soit largement adaptée en zones d'altitude et aux paysages agricoles, il est crucial de considérer les risques associés à une dépendance excessive à cette espèce (Iwasaki & Hogendoorn, 2022; Osterman, Aizen, et al., 2021). Il a été montré qu'une surutilisation de ruches peut avoir des effets sur la diversité des communautés locales de pollinisateurs et augmenter la vulnérabilité aux maladies et aux parasites, menaçant ainsi la stabilité des services de pollinisation à long terme (Bennett et al., 2020; Osterman, Aizen, et al., 2021; Pirk et al., 2017). De même, il reste des incertitudes concernant les interactions des abeilles domestiques à l'échelle du paysage. Leur présence et abondance peut avoir des effets sur la diversité fonctionnelle les réseaux de pollinisateurs lorsque l'introduction des colonies d'abeilles domestiques ne suffit pas à compenser les effets négatifs de la simplification des paysages agricoles sur ces réseaux (Agüero et al., 2018; Garibaldi et al., 2018). Pour les Andes tropicales, nos résultats soutiennent l'importance des pollinisateurs généralistes pour stabiliser ces réseaux. Mais, il est essentiel de

prendre garde à la conservation des espèces spécialisées et à la diversification des cultures dépendantes de la pollinisation et des espaces non-cultivés dans les paysages agricoles simplifiés. A cette échelle-là (qui n'a pas été abordée dans notre étude de terrain), le niveau de complexité des paysages joue sur la complémentarité des niches au niveau de la communauté et pourrait affecter la fréquence des visites florales pour certaines plantes, impactant leur succès reproductif (Howlett et al., 2021; Venjakob et al., 2016). A cet égard il reste encore des aspects à étudier concernant le rôle des pollinisateurs non-Apis, notamment des diptères, aussi très présents dans notre étude en termes d'abondance et de visites, mais dont la contribution à la pollinisation nécessite une exploration plus approfondie (McCabe & Cobb, 2021; Toivonen et al., 2022). Les visites florales par des diptères, notamment des Shyrphidae, de taille différentes peuvent changer selon les stades de floraison, notamment en fin d'anthèse, voire pendant la sénescence pollinique des plantes de Lupin (obs. pers.). Ces observations pourraient nourrir des recherches sur la diversité fonctionnelle et l'effectivité de la pollinisation (i.e. efficacité de transférer du pollen au stigma) selon les pratiques agricoles et les communautés d'insectes associées (Garibaldi et al., 2018b; Ne'eman et al., 2010; Requier et al., 2023; Winfree et al., 2011).

En lien avec notre démarche transdisciplinaire, à l'échelle des agrosystèmes, il est possible d'émettre l'hypothèse qu'une plus grande diversité fonctionnelle pourrait aussi contribuer à une meilleure adaptation aux perturbations, telles que les de pullulations ravageurs (*pest outbreaks*), lorsque les agriculteur·ice·s ont un système de savoirs leur permettant de mieux orienter leurs choix de gestion vers des groupes cibles plutôt que de recourir aux pesticides. De même, concernant les pollinisateurs, les espèces généralistes, qui peuvent être perçues de façon plus large et positive, pourraient contribuer à la protection des espèces spécialistes ou plus vulnérables, comme les abeilles solitaires. Ce point est crucial dans le contexte des changements et risques environnementaux, car une dominance fonctionnelle et des savoirs locaux limités pourrait renforcer la vulnérabilité aux événements météorologiques majeurs et au changement climatique à long terme.

Les NCP 'neutres' et les valeurs intrinsèques

Le paradigme des services écosystémiques, largement répandu dans la recherche en écologie, implique de concevoir la nature comme objective et sans valeur, supposant que la valeur est créée par la subjectivité humaine lors qu'elle rentre en interaction avec (i.e. en tire un bénéfice ou préjudice direct ou indirect) (Arias-Arévalo et al., 2018; Kumar, 2012; Maris, 2014; Maris et al., 2016). Notre travail sur les NCPs appuie l'intérêt d'aller vers d'autres paradigmes d'évaluation des relations Humains–Nature (Christie et al., 2019; Martin-Clouaire, 2018; Pacheco Huaiquifil, 2022; Pascual, Balvanera, & Christie, 2023). L'approche conceptuelle de l'IPBES élargit le cadre

d'analyse sur une plus grande diversité de perceptions et des rapports de l'humain à l'égard de la Nature comme base de compréhension de la valeur (cf. figure 7 et 9 de l'introduction) (Christie et al., 2019; Díaz et al., 2015; Pascual et al., 2017). Dans notre étude sur l'entomofaune agricole, nous avons pu reconnaître une grande diversité de rapports aux insectes. Par exemple, certaines croyances locales rapportaient qu'un insecte porte malheur s'il apparaît à une certaine période de l'année, ou que si une abeille pique une personne, c'est pour signaler un mal à corriger (« *si l'abeille pique sur la main, c'est qu'on a mal travaillé et on doit faire mieux ; si c'est le pied, c'est qu'on a pris un mauvais chemin* »). Certains papillons nocturnes son également considérés comme des présages funestes dans plusieurs régions du monde (eg. *Thermesiini* ou *Noctuoidea*, (Hogue, 2009)).

Dans nos observations de terrain, dans certains cas, les agriculteur·ice·s ont attribué une valeur « neutre » à certains insectes, affirmant qu'ils étaient simplement présents, volant autour des plantes, sans remplir de fonction spécifique, qu'ils « *étaient juste là* ». En approfondissant cette question, ils et elles ont expliqué que certains organismes étaient dans leurs parcelles juste pour exister, et qu'ils et elles respectaient leur présence, sans en être attirés ni les détester (obs. pers.). Ces réponses, aussi remarquables qu'inattendues, mettent en lumière une dimension importante des interactions entre les humains et les insectes, où certains organismes sont simplement acceptés comme faisant partie de l'environnement sans leur attribuer de valeur particulière. Ce type de valeur est hors-le-champ des études de ESEDS ou en écologie, où l'on s'intéresse aux valeurs instrumentales et relationnelles par rapport aux pratiques culturelles, à des appréciations esthétiques et à des croyances partagées (Cooper et al., 2016; Irvine et al., 2016). Or, les valeurs intrinsèques sont basées sur des rapports de non-usage et des préférences pour des éléments de la Nature s'inscrivant dans des valeurs de trois types : d'existence, altruistes et légataires (Pascual et al 2017). Ces valeurs intrinsèques, bien qu'elles soient moins fréquemment mentionnées et étudiées, montrent l'importance des relations Humains-Nature qui ne sont guère traduites dans un langage étroitement instrumental puisqu'elles ne sont, en principe, pas substituables. Leur complémentarité avec d'autre types de valeurs qui seraient, en revanche, comparables et commensurables, facilite les évaluations de compromis sur des processus, fonctions et systèmes essentiels à la vie (Himes et al., 2024). Reconnaître les perspectives et les expériences des uns et des autres pour intégrer des aspects biophysiques ainsi que spirituels ou symboliques représente un défi majeur mais aussi une opportunité pour (se re)trouver (dans) des valeurs communes pour mettre en place des actions pertinentes pour faire face à l'alarmant déclin des insectes (Carson, 1962; IPBES, 2016; Lockwood, 1987; A. Martin et al., 2024; Scherr & McNeely, 2007).

7. CONCLUSION GENERALE

Cette thèse explore les dynamiques socio-écologiques de l'entomofaune agricole dans les Andes tropicales, en se basant sur une étude de terrain menée dans des systèmes agricoles de petite échelle de la région du Cotopaxi en Équateur. Elle évalue plusieurs stratégies de gestion des insectes ravageurs et pollinisateurs dans le but d'identifier les blocages et leviers pour réduire l'utilisation des pesticides. Cette thèse propose aussi un cadre d'analyse entre écologie et sciences sociales pour caractériser les rapports insectes-humains dans les contextes agricoles à travers des contributions matérielles et non matérielles afin d'identifier les leviers et blocages vers une transition agroécologique. Cette thèse, en intégrant les approches des ethnosciences, élargit l'analyse pour comprendre comment les savoirs et perceptions des agriculteur·ice·s influencent leurs pratiques concernant les insectes. Les résultats montrent des potentialités associées aux insectes pollinisateurs qui pourraient soutenir cette transition dans les contextes d'agriculture de petite échelle.

Dans une approche expérimentale sur la gestion des ravageurs et des pollinisateurs dans des parcelles de Lupin andin, il a été démontré que la pollinisation joue un rôle important dans la formation des gousses et peut participer à améliorer les rendements agricoles, bien que les mécanismes précis de la pollinisation au niveau des graines nécessitent des études plus approfondies. Dans une démarche participative et collaborative, notre étude a permis d'explorer la gestion de la pollinisation comme pratique intégrée, montrant que certains avantages économiques sont envisageables pour les systèmes de production locaux dans les Andes Equatoriennes. Toutefois, la configuration spatiale et temporelle complexe de ces systèmes de petite échelle demande une analyse plus détaillée des dynamiques à l'échelle du paysage. De même, malgré la rentabilité potentielle des stratégies de supplémentation en pollinisation, le contexte économique et les conditions du marché actuelles ne garantissent pas une forte attractivité de ces stratégies pour le revenu des agriculteur·ice·s. Cela permet d'explorer et proposer des réflexions ultérieures sur, par exemple, une gestion partagée de ruches qui pourrait améliorer l'efficacité de cette stratégie.

Nos résultats mettent également en lumière des dimensions sociales et des systèmes de savoirs et de valeurs associés aux insectes, et notamment aux pollinisateurs. Bien qu'il existe un intérêt agronomique et économique, des obstacles d'action persistent en lien avec les dynamiques de savoirs et des perceptions. La peur des piqûres, les effets négatifs associés aux insectes ravageurs, et l'incertitude quant aux bénéfices à large échelle, notamment dans un contexte socio-écologique instable, ont paru limiter l'apiculture et la gestion des abeilles domestiques pour la pollinisation dans l'agriculture locale. Ainsi, dans notre étude de terrain, les pratiques les plus

valorisées par les agriculteur·ice·s conventionnel·le·s étaient orientées principalement sur la lutte contre les ravageurs et la gestion des rendements, tandis que les agriculteur·ice·s agroécologiques s'intéressaient également à l'amélioration de la qualité et de la quantité des récoltes, ainsi qu'à la pollinisation, en tenant compte des facteurs écologiques tels que la biodiversité (plantes, autres insectes) et les habitats environnants. Les agriculteur·ice·s ont aussi exprimé un intérêt pour développer des pratiques de gestion des habitats, dont les espaces non-cultivés, pour favoriser les pollinisateurs et autres insectes bénéfiques locaux. Nos résultats soulignent l'importance de travailler avec les savoirs et pratiques locales des agriculteur·ice·s en apportant des éléments qui puissent conforter leurs intérêts et favoriser la conservation des insectes tout en répondant aux problématiques de l'utilisation des pesticides. Il serait alors judicieux de soutenir la pollinisation par des pratiques diversifiées, incluant non seulement l'introduction d'abeilles domestiques mais aussi d'autres approches à une plus large échelle et d'intégrer aussi la réduction des risques environnementaux pour d'autres pollinisateurs locaux.

Dans cette thèse il était aussi proposé d'intégrer les différences des perceptions et savoirs des agriculteur·ice·s selon des pratiques conventionnelles ou plus agroécologiques, sans pesticides. Les personnes dans ce dernier groupe ont montré avoir une compréhension plus élargie des insectes, avec des listes d'espèces plus variées et des indices de saillance et d'importance culturelle plus élevés pour les taxons de pollinisateurs. En approfondissant sur les savoirs ethnoentomologiques, notre étude a révélé que certain·e·s agriculteur·ice·s utilisent des critères morphologiques et écologiques détaillés pour classifier les insectes, basés sur leurs observations et échanges de savoirs au sein de la communauté. Nous avons également trouvé que ces savoirs se traduisent dans la pratique, dans le cas des parcelles conventionnelles, par une surreprésentation de taxons només avec des termes génériques comme '*mouche*' ou '*vers*', qui complique la mise en place de stratégies de contrôle ciblées. En revanche, les pratiques sans pesticides nécessitent d'identifier et de reconnaître les stades larvaires ou adultes, ainsi que des détails temporels et spatiaux des interactions écologiques avec les plantes et d'autres insectes.

En compilant toutes les contributions positives et négatives des insectes (i.e. services et disservices écosystémiques) rapportées par les agriculteur·ice·s, nous avons constaté des différences également selon ces stades de développement, entre les deux types d'agriculture. Les agriculteur·ice·s dans les pratiques sans pesticide valorisaient davantage les aspects non-matériels à travers des valeurs intrinsèques et contributions sociales et esthétiques des insectes, tandis que les agriculteur·ice·s conventionnel·le·s se concentraient davantage sur les contributions matérielles, associées presque exclusivement au dommage des plantes.

Dans notre étude de cas, cette approche holistique a permis de recenser et de catégoriser la diversité bioculturelle de l'entomofaune dans les paysages agricoles de petite échelle, en tenant compte des contributions des insectes. Ces contributions pourraient être mobilisées pour favoriser l'élaboration d'actions collectives en faveur des pollinisateurs et de la transition agroécologique. Ainsi, en co-construisant des stratégies avec les agriculteur·ice·s et en valorisant leurs connaissances, il est possible, et souhaitable, d'envisager le développement des pratiques agricoles plus résilientes et durables, bénéfiques tant pour la biodiversité que pour les agriculteur·ice·s.

REFERENCES

References Chapitre 1

Albuquerque, U. P., Cruz Da Cunha, L. V. F., De Lucena, R. F. P., & Alves, R. R. N. (Eds.). (2014). Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology. *Springer New York*. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8636-7

Assadourian, C. S. (2005). Agricultura y tenencia de la tierra antes y después de la conquista. *Población & Sociedad*, (12-13), 3-56.

Albuquerque, U. P., Ludwig, D., Feitosa, I. S., De Moura, J. M. B., Gonçalves, P. H. S., Da Silva, R. H., Da Silva, T. C., Gonçalves-Souza, T., & Ferreira Júnior, W. S. (2021). Integrating traditional ecological knowledge into academic research at local and global scales. *Regional Environmental Change,* 21(2), 45. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01774-2

Altieri, M. A. (1993). Ethnoscience and biodiversity: Key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46(1), 257–272. https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90029-O

Altieri, M. A. (2002). Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. Agriculture, *Ecosystems & Environment*, 93(1–3), 1–24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3

Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35–42. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2

Altieri, M., & Nicholls, C. (2018). Biodiversity and pest management in agroecosystems. CRC press. https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781482277937/biodiversity-pest-management-agroecosystems-miguel-altieri-clara-nicholls

Amelot, X., Moreau, S., & Carrière, S. M. (2012). Des justiciers de la biodiversité aux injustices spatiales. L'exemple de l'extension du réseau d'aires protégées à Madagascar. In D. Blanchon, J. Gardin, & S. Moreau (Eds.), Justice et injustices environnementales (pp. 193–216). *Presses universitaires de Paris Nanterre.* https://doi.org/10.4000/books.pupo.3432

Anderson, E. N. (2011). Ethnobiology and Agroecology. In Ethnobiology (pp. 305–318). *John Wiley & Sons,* Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118015872.ch18

Assadourian, C. S. (n.d.). AGRICULTURA Y TENENCIA DE LA TIERRA ANTES Y DESPUÉS DE LA CONQUISTA.

Atran, S. (1998). Folk Biology and the Anthropology of Science: Cognitive Universals and Cultural Particulars. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(4), 547-609. https://doi.org/10.1017/S0140525X98001277

Ávila Romero, L. E. (2021). Alternativas al colapso socioambiental desde América Latina (1st ed., Vol. 10). transcript Verlag / Bielefeld University Press. https://doi.org/10.14361/9783839448939

Ayala, R., Gonzalez, V. H., & Engel, M. S. (2013). Mexican Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae): Diversity, Distribution, and Indigenous Knowledge. In P. Vit, S. R. M. Pedro, & D. Roubik (Eds.), Pot-Honey: A legacy of stingless bees (pp. 135–152). *Springer.* https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4960-7_9

Bartholomée, O., & Lavorel, S. (2019). Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. *Ecological Indicators*, 107, 105576. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105576

Basset, Y., & Lamarre, G. P. A. (2019). Toward a world that values insects. *Science,* 364(6447), 1230–1231. https://doi.org/10.1126/science.aaw7071

Beltrán-Tolosa, L. M., Cruz-Garcia, G. S., Solis, R., & Quintero, M. (2020). Mestizo Farmers' Knowledge of Entomofauna Is Reflected in Their Management Practices: A Case Study in the Andean-Amazon Foothills of Peru. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 539611. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.539611

Berdegué, J. A., & Fuentealba, R. (2011). Latin America: The state of smallholders in agriculture. In *IFAD* conference on new directions for smallholder agriculture (Vol. 24, p. 25).

Berdegué, J. A., & Fuentealba, R. (2014). The state of smallholders in agriculture in Latin America. In P. B. R. Hazell & A. Rahman (Eds.), New Directions for Smallholder Agriculture (p. 0*). Oxford University Press*. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199689347.003.0005

Berlin, B. (1992). Ethnobiological Classification: Principles of Categorization of Plants and Animals in Traditional Societies. *Princeton University Press*.

Bernhardt, E. S., Rosi, E. J., & Gessner, M. O. (2017). Synthetic chemicals as agents of global change. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(2), 84–90. https://doi.org/10.1002/fee.1450

Bertomeu-Sánchez, J. R. (2019). Introduction. Pesticides: Past and Present. HoST - *Journal of History of Science and Technology*, 13(1), 1–27. https://doi.org/10.2478/host-2019-0001

Biddinger, D. J., & Rajotte, E. G. (2015). Integrated pest and pollinator management—Adding a new dimension to an accepted paradigm. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 204–209. https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.012

Birkhofer, K., Buxton, M., Feng, L., Simba, L., & Diekötter, T. (2024). Conserving insects for the provision of ecosystem services. *In Routledge Handbook of Insect Conservation*. Routledge.

Blanco, J., Pascal, L., Ramon, L., Vandenbroucke, H., & Carrière, S. M. (2013). Agrobiodiversity performance in contrasting island environments: The case of shifting cultivation in Vanuatu, Pacific. *Agriculture, ecosystems & environment*, *174*, 28-39. https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.015

Blanco, J., Moreau, C., Guerbois, C., Barnaud, C., Renaud, P. C., Deconchat, M., & Andrieu, É. (2021). La biodiversité, une ressource, mais aussi un fardeau? Intérêt et limites des notions de services et disservices écosystémiques pour repenser les interactions nature-sociétés dans les territoires ruraux. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 20(3). https://doi.org/10.4000/vertigo.29079

Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(4), 230–238. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012

Brondízio, E. S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bates, P., Carino, J., Fernández-Llamazares, Á., Ferrari, M. F., Galvin, K., Reyes-García, V., McElwee, P., Molnár, Z., Samakov, A., & Shrestha, U. B. (2021a). Locally Based, Regionally Manifested, and Globally Relevant: Indigenous and Local Knowledge, Values, and Practices for Nature. *Annual Review of Environment and Resources*, 46(1), 481–509. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-012127

Brühl, C. A., Engelhard, N., Bakanov, N., Wolfram, J., Hertoge, K., & Zaller, J. G. (2024). Widespread contamination of soils and vegetation with current use pesticide residues along altitudinal gradients in a European Alpine valley. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 1–9. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01220-1

Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019a). Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177

Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019b). Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177

Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2021). Nature’s contributions to people: Coproducing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society*, 26(1), art12. https://doi.org/10.5751/ES-12031-260112

Carriere, Y., Brown, Z. S., Downes, S. J., Gujar, G., Epstein, G., Omoto, C., Storer, N. P., Mota-Sanchez, D., Sogaard Jorgensen, P., & Carroll, S. P. (2020). Governing evolution: A socioecological comparison of resistance management for insecticidal transgenic Bt crops among four countries. In AMBIO (Vol. 49, Issue 1, pp. 1–16). *Springer.* https://doi.org/10.1007/s13280-019-01167-0

Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*, 6(2), 48–60. https://doi.org/10.1002/fes3.108

Cech, R., Zaller, J. G., Lyssimachou, A., Clausing, P., Hertoge, K., & Linhart, C. (2023). Pesticide drift mitigation measures appear to reduce contamination of non-agricultural areas, but hazards to humans and the environment remain. *Science of The Total Environment*, 854, 158814. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158814

Christie, M., Martín-López, B., Church, A., Siwicka, E., Szymonczyk, P., & Mena Sauterel, J. (2019). Understanding the diversity of values of "Nature's contributions to people": Insights from the IPBES Assessment of Europe and Central Asia. *Sustainability Science*, 14(5), 1267–1282. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00716-6

Cole, D. C., Orozco T, F., Pradel, W., Suquillo, J., Mera, X., Chacon, A., Prain, G., Wanigaratne, S., & Leah, J. (2011). An agriculture and health inter-sectorial research process to reduce hazardous pesticide health impacts among smallholder farmers in the Andes. *BMC International Health and Human Rights*, 11(2), S6. https://doi.org/10.1186/1472-698X-11-S2-S6

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588–2597. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Cornilleau, L., & Joly, P.-B. (2014). 5. *La révolution verte, un instrument de gouvernement de la « faim dans le monde* ». Une histoire de la recherche agricole internationale.

Craig, M. P. A., Stevenson, H., & Meadowcroft, J. (2019). Debating nature's value: Epistemic strategy and struggle in the story of 'ecosystem services.' *Journal of Environmental Policy & Planning*, 21(6), 811–825. https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1677221

Dangles, O., & Casas, J. (2019). Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. *Ecosystem Services*, 35, 109–115. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.002

de O. Gomes, H., Menezes, J. M. C., da Costa, J. G. M., Coutinho, H. D. M., Teixeira, R. N. P., & do Nascimento, R. F. (2020). A socio-environmental perspective on pesticide use and food production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 197, 110627. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110627

Deguine, J.-P., Aubertot, J.-N., Flor, R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A. G., & Ratnadass, A. (2021). Integrated pest management: Good intentions, hard realities. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(3), 38. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00689-w

Descola, P. (2013). The ecology of others.

Dewey, J. (1939). *Theory of Valuation*. University of Chicago Press.

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., … Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework—Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002

Diaz-Montano, J., Vindiola, B. G., Drew, N., Novy, R. G., Miller, J. C., & Trumble, J. T. (2014). Resistance of Selected Potato Genotypes to the Potato Psyllid (Hemiptera: Triozidae). *American Journal of Potato Research*, 91(4), 363–367. https://doi.org/10.1007/s12230-013-9356-6

Dicks, L. V., Grames, E. M., Bowler, D. E., & Isaac, N. J. B. (2024). Insect declines – an overview of current knowledge on the status of the world's insects. *In Routledge Handbook of Insect Conservation*. Routledge.

Ecobichon, D. J. (2001). Pesticide use in developing countries. *Toxicology*, 160(1–3), 27–33. https://doi.org/10.1016/s0300-483x(00)00452-2

Egan, P. A., Dicks, L. V., Hokkanen, H. M. T., & Stenberg, J. A. (2020). Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM). *Trends in Plant Science*, 25(6), 577–589. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006

Ehler, L. E. (2006). Integrated pest management (IPM): Definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science*, 62(9), 787–789. https://doi.org/10.1002/ps.1247

Ellis, E. C., Pascual, U., & Mertz, O. (2019). Ecosystem services and nature's contribution to people: Negotiating diverse values and trade-offs in land systems. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 38, 86–94. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.001

Faas, A. J. (2017). Reciprocity and Vernacular Statecraft: Andean Cooperation in Post-disaster Highland Ecuador. *The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology*, 22(3), 495–513. https://doi.org/10.1111/jlca.12272

FAO. (2013). *The state of food and agriculture*. FAO.

FAO (Ed.). (2014*). Innovation in family farming*. FAO.

FAO (Ed.). (2016). *Climate change, agriculture and food security*. FAO.

FAO. (2017*). Defining small-scale food producers to monitor target 2.3 of the 2030 agenda for sustainable development (FAO Statistical Division Working Paper Series ESS/17-12)*. FAO.

FAO. (2022). *The state of food and agriculture.* FAO

Faure, J., Mouysset, L., & Gaba, S. (2023). Combining incentives with collective action to provide pollination and a bundle of ecosystem services in farmland. *Ecosystem Services*, 63, 101547. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101547

Faye, J. B. (2020). Indigenous farming transitions, sociocultural hybridity and sustainability in rural Senegal. NJAS: *Wageningen Journal of Life Sciences*, 92(1), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.njas.2020.100338

Fazey, I., Fazey, J. A., Salisbury, J. G., Lindenmayer, D. B., & Dovers, S. (2006). The nature and role of experiential knowledge for environmental conservation. *Environmental Conservation,* 33(1), 1–10. https://doi.org/10.1017/S037689290600275X

Fernandez-Cornejo, J., Jans, S., & Smith, M. (1998). Issues in the Economics of Pesticide Use in Agriculture: A Review of the Empirical Evidence. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 20(2), 462–488. https://doi.org/10.2307/1350002

Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). *Global Consequences of Land Use. Science,* 309(5734), 570–574. https://doi.org/10.1126/science.1111772

Foottit, R. G., & Adler, P. H. (Eds.). (2009). *Insect biodiversity: science and society*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781444308211

Forister, M. L., Pelton, E. M., & Black, S. H. (2019). Declines in insect abundance and diversity: We know enough to act now. *Conservation Science and Practice*, 1(8), e80. https://doi.org/10.1111/csp2.80

Gaba, S., Alignier, A., Aviron, S., Barot, S., Blouin, M., Hedde, M., Jabot, F., Vergnes, A., Bonis, A., Bonthoux, S., Bourgeois, B., Bretagnolle, V., Catarino, R., Coux, C., Gardarin, A., Giffard, B., Le Gal, A., Lecomte, J., Miguet, P., … Couvet, D. (2018). Ecology for Sustainable and Multifunctional Agriculture. In S. Gaba, B. Smith, & E. Lichtfouse (Eds.), *Sustainable Agriculture Reviews* 28 (Vol. 28, pp. 1–46). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90309-5_1

Galt, R. E. (2008). Beyond the circle of poison: Significant shifts in the global pesticide complex, 1976–2008. *Global Environmental Change,* 18(4), 786–799. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.003

Gaoue, O. G., Coe, M. A., Bond, M., Hart, G., Seyler, B. C., & McMillen, H. (2017). Theories and Major Hypotheses in Ethnobotany. *Economic Botany*, 71(3), 269–287. https://doi.org/10.1007/s12231-017-9389-8

Garibaldi, L. A., Aizen, M. A., Klein, A. M., Cunningham, S. A., & Harder, L. D. (2011). Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 108(14), 5909–5914. https://doi.org/10.1073/pnas.1012431108

Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Vaissière, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipólito, J., Freitas, B. M., Ngo, H. T., Azzu, N., Sáez, A., Åström, J., An, J., Blochtein, B., Buchori, D., García, F. J. C., Oliveira Da Silva, F., Devkota, K., Ribeiro, M. D. F., Freitas, L., Gaglianone, M. C., … Zhang, H. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science*, 351(6271), 388–391. https://doi.org/10.1126/science.aac7287

Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., & Breeze, T. D. (2017). Farming Approaches for Greater Biodiversity, Livelihoods, and Food Security. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(1), 68–80. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J. J.

IPBES. (2019*). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, & C. N. Zayas, Eds.). IPBES secretariat.

Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology,* 11(2), 97–105. https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001

INEC – Instituto Nacional de Estadística y Censos de Ecuador (2022). Censo de Población y V de Vivienda 2022. Fascículo Provincial Cotopaxi.

Ingold, T., & Kurttila, T. (2000). Perceiving the environment in Finnish Lapland. *Body & society,* 6(3-4), 183-196.

Gendall, H., Seminario, J., Sørensen, M., & Theilade, I. (2019). Unearthing the "Lost" Andean Root Crop "Mauka" (Mirabilis expansa [Ruíz & Pav.] Standl.). *Economic Botany*, 73(4), 443–460. https://doi.org/10.1007/s12231-019-09467-y

Gibbs, K. E., Mackey, R. L., & Currie, D. J. (2009). Human land use, agriculture, pesticides and losses of imperiled species. *Diversity and Distributions*, 15(2), 242–253. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00543.x

Gillespie, M. A. K., & Wratten, S. D. (2017). The Role of Ecosystem Disservices in Pest Management. In M. Coll & E. Wajnberg (Eds.), *Environmental Pest Management* (1st ed., pp. 175–194). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119255574.ch8

Goulson, D. (2019). The insect apocalypse, and why it matters. *Current Biology*, 29(19), R967–R971. https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.069

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science,* 347(6229), 1255957. https://doi.org/10.1126/science.1255957

Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Luna, J. M. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4(2), 107–116. https://doi.org/10.1078/1439-1791-00122

Gurr, G., Wratten, S., & Altieri, M. (2004). Ecological engineering: A new direction for agricultural pest management.

Hall, D. M., & Martins, D. J. (2020). Human dimensions of insect pollinator conservation. Current *Opinion in Insect Science*, 38, 107–114. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.04.001

Hammond Wagner, C., Cox, M., & Bazo Robles, J. L. (2016). Pesticide lock-in in small scale Peruvian agriculture. *Ecological Economics,* 129, 72–81. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.05.013

Herrera, A., & Ali, M. (2009). Paisajes del desarrollo: La ecología de las tecnologías andinas. Antípoda. *Revista de Antropología y Arqueología*, 8, 169–194. https://doi.org/10.7440/antipoda8.2009.07

Hocsman, L. D. (2015). Agricultura Familiar y descampesinización: Nuevos sujetos para el desarrollo rural modernizante. https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/59398

Hunn, E. S. (2002). *The utility of ethnobiological classification: A critique*. In *Ethnobiology: A Historical and Theoretical Study* (pp. 23-42). University of Arizona Press.

Huylenbroeck, G. V., Vandermeulen, V., Mettepenningen, E., & Verspecht, A. (2007). Multifunctionality of Agriculture: A Review of Definitions, Evidence and Instruments. *Living Rev. Landscape Res*., 1. https://doi.org/10.12942/lrlr-2007-3

International Fund for Agricultural Development (IFAD). (2013). Small holders, food security and the environment (United Nations Environment Programme 8271; p. 52). IFAD. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8127

IPBES. (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. (S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (Eds), p. 552). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

Irvine, K. N., O'Brien, L., Ravenscroft, N., Cooper, N., Everard, M., Fazey, I., Reed, M. S., & Kenter, J. O. (2016). Ecosystem services and the idea of shared values. *Ecosystem Services*, 21, 184–193. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.001

Isaacs, R., Williams, N., Ellis, J., Pitts-Singer, T. L., Bommarco, R., & Vaughan, M. (2017). Integrated Crop Pollination: Combining strategies to ensure stable and sustainable yields of pollination-dependent crops. *Basic and Applied Ecology*, 22, 44–60. https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.07.003

Jacobsen, C. S., & Hjelmsø, M. H. (2014). Agricultural soils, pesticides and microbial diversity. *Current Opinion in Biotechnology*, 27, 15–20. https://doi.org/10.1016/j.copbio.2013.09.003

Jactel, H., Imler, J.-L., Lambrechts, L., Failloux, A.-B., Lebreton, J. D., Maho, Y. L., Duplessy, J.-C., Cossart, P., & Grandcolas, P. (2020). Insect decline: Immediate action is needed. *Comptes Rendus. Biologies*, 343(3), 267–293. https://doi.org/10.5802/crbiol.37

Joly, P.-B., & Lemari, S. (2002). The technological trajectories of the agrochemical industry: Change and continuity. *Science and Public Policy*, 29(4), 259–266. https://doi.org/10.3152/147154302781780921

Jouzi, Z., Azadi, H., Taheri, F., Zarafshani, K., Gebrehiwot, K., Van Passel, S., & Lebailly, P. (2017). Organic farming and small-scale farmers: Main opportunities and challenges. *Ecological economics*, *132*, 144-154. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.10.016

Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: *Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Köhler, H.-R., & Triebskorn, R. (2013). Wildlife ecotoxicology of pesticides: Can we track effects to the population level and beyond? *Science (New York, N.Y.),* 341(6147), 759–765. https://doi.org/10.1126/science.1237591

Kremen, C., Williams, N. M., Aizen, M. A., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S. G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vázquez, D. P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E. E., Greenleaf, S. S., Keitt, T. H., Klein, A., Regetz, J., & Ricketts, T. H. (2007). Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: A conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10(4), 299–314. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01018.x

Kremen, C., Williams, N. M., & Thorp, R. W. (2002). Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16812–16816. https://doi.org/10.1073/pnas.262413599

Kull, C. A., Carrière, S. M., Moreau, S., Ramiarantsoa, H. R., Blanc-Pamard, C., & Tassin, J. (2013). Melting Pots of Biodiversity: Tropical Smallholder Farm Landscapes as Guarantors of Sustainability. Environment: *Science and Policy for Sustainable Development*, 55(2), 6–16. https://doi.org/10.1080/00139157.2013.765307

Kumar, P. (2012). The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations. Routledge. M. E. A (2001). *Millennium ecosystem assessment* (Vol. 2). https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2011.02253.x

Labeyrie, V., Renard, D., Aumeeruddy-Thomas, Y., Benyei, P., Caillon, S., Calvet-Mir, L., M. Carrière, S., Demongeot, M., Descamps, E., Braga Junqueira, A., Li, X., Locqueville, J., Mattalia, G., Miñarro, S., Morel, A., Porcuna-Ferrer, A., Schlingmann, A., Vieira da Cunha Avila, J., & Reyes-García, V. (2021). The role of crop diversity in climate change adaptation: Insights from local observations to inform decision making in agriculture. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 51, 15–23. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.01.006

Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat Management to Conserve Natural Enemies of Arthropod Pests in Agriculture. *Annual Review of Entomology*, 45(Volume 45, 2000), 175–201. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175

Lencucha, R., & Neupane, S. (2022). The use, misuse and overuse of the 'low-income and middle-income countries' category. *BMJ global health*, *7*(6), e009067. https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-009067

Lowder, S. K., Skoet, J., & Raney, T. (2016). The number, size, and distribution of farms, smallholder farms, and family farms worldwide. *World development*, *87*, 16-29. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041

Lowder, S. K., Sánchez, M. V., & Bertini, R. (2021). Which farms feed the world and has farmland become more concentrated? *World Development*, 142, 105455. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105455

Ludwig, D. (2016). Overlapping ontologies and Indigenous knowledge. From integration to ontological self-determination. *Studies in History and Philosophy of Science* Part A, 59, 36–45. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2016.06.002

Lyle, H. F. (2017). Volver a Nuestras Raíces: The Reemergence and Adaptation of Traditional Forms of Andean Reciprocity. *The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology*, 22(3), 419–437. https://doi.org/10.1111/jlca.12283

Maas, B., Fabian, Y., Kross, S. M., & Richter, A. (2021). Divergent farmer and scientist perceptions of agricultural biodiversity, ecosystem services and decision-making. *Biological Conservation*, 256, 109065. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109065

Mamy, L., Pesce, S., Sanchez, W., Aviron, S., Bedos, C., Berny, P., Bertrand, C., Betoulle, S., Charles, S., Chaumot, A., Coeurdassier, M., Coutellec, M.-A., Crouzet, O., Faburé, J., Fritsch, C., Gonzalez, P., Hedde, M., Leboulanger, C., Margoum, C., … Leenhardt, S. (2023). Impacts of neonicotinoids on biodiversity: A critical review. *Environmental Science and Pollution Research.* https://doi.org/10.1007/s11356-023-31032-3

Managi, S., Islam, M., Saito, O., Stenseke, M., Dziba, L., Lavorel, S., ... & Hashimoto, S. (2022). Valuation of nature and nature's contributions to people. *Sustainability Science*, *17*(3), 701-705. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01140-z

Maris, V. (2010). Philosophie de la biodiversité: petite éthique pour une nature en péril (pp. 26-32). Paris: Buchet-Chastel.

Marselle, M. R., Turbe, A., Shwartz, A., Bonn, A., & Colléony, A. (2020). Addressing behaviour in pollinator conservation policies to combat the implementation gap. *Conservation Biology,* cobi.13581. https://doi.org/10.1111/cobi.13581

Merle, I., Hipólito, J., & Requier, F. (2022). Towards integrated pest and pollinator management in tropical crops. *Current Opinion in Insect Science*, 50, 100866. https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.12.006

Misganaw, M. (2017). Perception of Farmers on Importance of Insect Pollinators in Gozamin District of Amhara Region, Ethiopia. *Biodiversity International Journal*, 1(5). https://doi.org/10.15406/bij.2017.01.00029

Morris, B. (2004). Insects and human life (1st ed). Berg.

Morris, M. G., Collins, N. M., Vane-Wright, R. I., & Waage, J. (1991). The Utilization and Value of Non-domesticated Insects. *In The Conservation of Insects and their Habitats* (pp. 319–347). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-181370-3.50019-1

Mostowlansky, T., & Rota, A. (2020). Emic and Etic. In F. Stein, S. Lazar, M. Candea, H. Diemberger, J. Robbins, A. Sanchez, & R. Stasch (Eds.), The Cambridge Encyclopedia of Anthropology (pp. 1-16). Cambridge: University of Cambridge. https://doi.org/10.29164/20emicetic

Mugnier, R. (2020). Qui dit pollinisation… dit négociation: Les relations des apiculteurs professionnels avec le monde agricole. *Études rurales*, 206, 90–109. https://doi.org/10.4000/etudesrurales.24377

Mugnier, R. (2023). Le travail interespèces de pollinisation dans les écologies perturbées: Apiculteurs, abeilles et agriculture en vallée du Rhône. *Revue d'anthropologie des connaissances, 17*(1). https://doi.org/10.4000/rac.29467

Nazarea, V. D. (1999). Ethnoecology: Situated Knowledge/located Lives. University of Arizona Press.

Nolan, J. M., & Turner, N. J. (2011). Ethnobotany: The Study of People–Plant Relationships. In Ethnobiology (pp. 133–147). *John Wiley & Sons*, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781118015872.ch9

Osterman, J., Landaverde-González, P., Garratt, M. P. D., Gee, M., Mandelik, Y., Langowska, A., Miñarro, M., Cole, L. J., Eeraerts, M., Bevk, D., Avrech, O., Koltowski, Z., Trujillo-Elisea, F. I., Paxton, R. J., Boreux, V., Seymour, C. L., & Howlett, B. G. (2021). On-farm experiences shape farmer knowledge, perceptions of pollinators, and management practices. *Global Ecology and Conservation*, 32, e01949. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01949

Padulosi, S., Bergamini, N., Lawrence, T., & International, B. (2012). On-farm conservation of neglected and underutilized species: Status, trends and novel approaches to cope with climate change: *Proceedings of an International Conference*, Frankfurt, 14-16 June, 2011. https://hdl.handle.net/10568/104624

Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., ... & Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: the IPBES approach. *Current opinion in environmental sustainability*, 26, 7-16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006

Pedigo, L. P., Hutchins, S. H., & Higley, L. G. (1986). Economic Injury Levels in Theory and Practice.

Pisa, L., Goulson, D., Yang, E.-C., Gibbons, D., Sánchez-Bayo, F., Mitchell, E., Aebi, A., van der Sluijs, J., MacQuarrie, C. J. K., Giorio, C., Long, E. Y., McField, M., Bijleveld van Lexmond, M., & Bonmatin, J.-M. (2021). An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: Impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 11749–11797. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0341-3

Posey, D. A. (1982). Ethnomethodology as an emic guide to cultural systems: The case of the insects and the Kayapó Indians of Amazonia. *Revista Brasileira de Zoologia*, 1(3), 135–144. https://doi.org/10.1590/S0101-81751982000300001

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353. https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007

Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2959–2971. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0143

Prendergast, K. S., Garcia, J. E., Howard, S. R., Ren, Z.-X., McFarlane, S. J., & Dyer, A. G. (2021). Bee Representations in Human Art and Culture through the Ages. https://doi.org/10.1163/22134913-bja10031

Pretty, J. (2008). Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 447–465. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163

Lemelin Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S. A., Mayfield, M. M., Arthur, A. D., Andersson, G. K. S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Entling, M. H., Foully, B., Freitas, B. M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., … Woyciechowski, M. (2016). Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 146–151. https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112

Raderschall, C. A., Bommarco, R., Lindström, S. A. M., & Lundin, O. (2021). Landscape crop diversity and semi-natural habitat affect crop pollinators, pollination benefit and yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 306. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107189

Rawluk, A., & Saunders, M. E. (2019). Facing the gap: Exploring research on local knowledge of insect-provided services in agroecosystems. *International Journal of Agricultural Sustainability,* 17(1), 108–117. https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1567244

Relyea, R. A. (2009). A cocktail of contaminants: How mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. Oecologia, 159(2), 363–376. https://doi.org/10.1007/s00442-008-1213-9

Rigg, J., Salamanca, A., & Thompson, E. C. (2016). The puzzle of East and Southeast Asia's persistent smallholder. *Journal of Rural Studies*, 43, 118–133. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2015.11.003

Rodet, G. (2019). The Man and the Bees: A Coviability Issue – Beekeeping Can It Be Intensively Farmed? In O. Barrière, M. Behnassi, G. David, V. Douzal, M. Fargette, T. Libourel, M. Loireau, L. Pascal, C. Prost, V. Ravena-Cañete, F. Seyler, & S. Morand (Eds.), Coviability of Social and Ecological Systems: Reconnecting Mankind to the Biosphere in an Era of Global Change: Vol. 2: Coviability Questioned by a Diversity of Situations (pp. 305–327). *Springer International Publishing.* https://doi.org/10.1007/978-3-319-78111-2_16

Roué, M., Battesti, V., Césard, N., & Simenel, R. (2015). Ethnoecology of pollination and pollinators: Knowledge and practice in three societies. *Revue d'ethnoécologie*, 7. https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.2229

Sabourin, E., Samper, M., Le Coq, J. F., Massardier, G., & Sotomayor, O. (2014). El surgimiento de políticas públicas para la agricultura familiar en América Latina: trayectorias, tendencias y perspectivas.

Sagwe, R. N., Peters, M. K., Dubois, T., Steffan-Dewenter, I., & Lattorff, H. M. G. (2021). Pollinator supplementation mitigates pollination deficits in smallholder avocado (Persea americana Mill.) production systems in Kenya. *Basic and Applied Ecology*, 56, 392–400. https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.08.013

Samways, M. J., McGeoch, M. A., & New, T. R. (2010). Insect Conservation: *A Handbook of Approaches and Methods.* Oxford University Press.

Scialabba, N., & Hattam, C. (Eds.). (2002). *Organic agriculture, environment and food security* (No. 4). Food & Agriculture Org.

Schowalter, T. D. (2022). Insect Ecology: *An Ecosystem Approach*. Academic Press.

Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P. (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. Food Policy, 37(6), 616–626. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003

Shaner, D. L., & Beckie, H. J. (2014). The future for weed control and technology. *Pest Management Science*, 70(9), 1329–1339. https://doi.org/10.1002/ps.3706

Sherwood, S. G., & Paredes, M. (2014). Dynamics of Perpetuation: The Politics of Keeping Highly Toxic Pesticides on the Market in Ecuador. *Nature and Culture*, 9(1), 21–44. https://doi.org/10.3167/nc.2014.090102

Shmelev, S. (1998). Whose Knowledge, Whose nature? Biodiversity, Conservation, and the Political Ecology of Social Movements. *Journal of Political Ecology*, 5(1). https://doi.org/10.2458/v5i1.21397

Stewart, D., Kennedy, A., & Pavel, A. (2014). Beyond nutrition and agriculture policy: Collaborating for a food policy. *British Journal of Nutrition*, 112(S2), S65–S74. https://doi.org/10.1017/S000711451400230X

Stork, N. E. (2018). How Many Species of Insects and Other Terrestrial Arthropods Are There on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63(1), 31–45. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348

Struelens, Q., Rivera, M., Zabalaga, M. A., Ccanto, R., Tarqui, R. Q., Mina, D., Carpio, C., Mantilla, M. R. Y., Osorio, M., Roman, S., Muñoz, D., & Dangles, O. (2022). Pesticide misuse among small Andean farmers stems from pervasive misinformation by retailers. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(6), e0000017. https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000017

Tarakini, G., Chemura, A., & Musundire, R. (2020). Farmers' Knowledge and Attitudes Toward Pollination and Bees in a Maize-Producing Region of Zimbabwe: Implications for Pollinator Conservation. *Tropical Conservation Science*, 13. https://doi.org/10.1177/1940082920918534

Teixidor-Toneu, I., Westengen, O., Ulian, T., McMillion, A., Lorimer, M., Grace, O., ... & Kool, A. (2023). Co-conserving Indigenous and local knowledge systems with seeds. *Trends in Plant Science*. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.06.020

Toledo, V., & Alarcon, C. (2012). La Etnoecología hoy: Panorama, avances, desafíos. *Etnoecológica,* 9(1), 1:16.

Valencia YaguanaD. D., López Castillo G. de las M., Mina ChaláD. F., & Christian DanglesO. J. (2023). Uso de la app inaturalist como una herramienta eficaz para identificar los potenciales polinizadores en Lupinus mutabilis. *Revista Recursos Naturales Producción Y Sostenibilidad*, *2*(1), 1-17.ttp://190.15.139.149/index.php/RENPYS/article/view/478

Valencia-Perafán, M., Le Coq, J. F., Favareto, A., Samper, M., Sáenz-Segura, F., & Sabourin, E. (2020). Políticas públicas para el desarrollo territorial rural en América Latina: Balance y perspectivas. *Eutopía. Revista de Desarrollo Económico Territorial*, 17. https://doi.org/10.17141/eutopia.17.2020.4388

Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H. T., Potts, S. G., Settele, J., Skrimizea, E., & Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene*: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193–253). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002

Wagner, D. L. (2019). Insect Declines in the Anthropocene.

Wagner, D. L., Grames, E. M., Forister, M. L., Berenbaum, M. R., & Stopak, D. (2021). Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(2), 1–10.

Warren, R., Price, J., Graham, E., Forstenhaeusler, N., & VanDerWal, J. (2018). The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C. *Science,* 360(6390), 791–795. https://doi.org/10.1126/science.aar3646

Weiskopf, D. A. (2020). Representing and coordinating ethnobiological knowledge. Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and *Biomedical Sciences*, 84, 101328. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2020.101328

Werner, M. (2022). Geographies of production III: Global production in/through nature. *Progress in Human Geography*, 46(1), 234–244. https://doi.org/10.1177/03091325211022810

Werner, M., Berndt, C., & Mansfield, B. (2022). The Glyphosate Assemblage: Herbicides, Uneven Development, and Chemical Geographies of Ubiquity. *Annals of the American Association of Geographers*, 112(1), 19–35. https://doi.org/10.1080/24694452.2021.1898322

Wilson, C., & Tisdell, C. (2001). Why farmers continue to use pesticides despite environmental, health and sustainability costs. *Ecological Economics*, 39(3), 449–462. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00238-5

World Bank. (n.d.). What is the World Bank Atlas method? Retrieved from https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/378832-what-is-the-world-bank-atlas-method

World Bank. (n.d.). World Bank country and lending groups. Retrieved from https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups

Wyckhuys, K. A. G., Bentley, J. W., Lie, R., Nghiem, L. T. P., & Fredrix, M. (2018). Maximizing farm-level uptake and diffusion of biological control innovations in today's digital era. *BioControl*, 63(1), 133–148. https://doi.org/10.1007/s10526-017-9820-1

Wyckhuys, K. A. G., & O'Neil, R. J. (2007). Local agro-ecological knowledge and its relationship to farmers' pest management decision making in rural Honduras*. Agriculture and Human Values,* 24(3), 307–321. https://doi.org/10.1007/s10460-007-9068-y

Références Chapitre 2

Altieri MA (2004) Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. Frontiers in Ecology and the Environment 2:35–42. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2

Altieri MA, Funes-Monzote FR, Petersen P (2012) Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. Agron Sustain Dev 32:1–13. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6

Amano T, González-Varo JP, Sutherland WJ (2016) Languages Are Still a Major Barrier to Global Science. PLoS Biol 14:e2000933. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2000933

Ameixa OMCC, Soares AO, Soares AMVM, Lillebø AI (2018) Ecosystem Services Provided by the Little Things That Run the World. In: Şen B, Grillo O (eds) Selected Studies in Biodiversity. InTech

Bartomeus I, Dicks LV (2019) The need for coordinated transdisciplinary research infrastructures for pollinator conservation and crop pollination resilience. Environ Res Lett 14:045017. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0cb5

Beltrán-Tolosa LM, Cruz-Garcia GS, Solis R, Quintero M (2020) Mestizo Farmers' Knowledge of Entomofauna Is Reflected in Their Management Practices: A Case Study in the Andean-Amazon Foothills of Peru. Front Sustain Food Syst 4:539611. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.539611

Bentley JW (1989) What farmers don't know can't help them: The strengths and weaknesses of indigenous technical knowledge in Honduras. Agric Hum Values 6:25–31. https://doi.org/10.1007/BF02217666

Biddinger DJ, Rajotte EG (2015) Integrated pest and pollinator management — adding a new dimension to an accepted paradigm. Current Opinion in Insect Science 10:204–209. https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.012

Bigirimana J, Adams CG, Gatarayiha CM, et al (2019) Occurrence of potato taste defect in coffee and its relations with management practices in Rwanda. Agriculture, Ecosystems & Environment 269:82–87. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.022

Blanco J, Bellón B, Barthelemy L, et al (2021) A novel ecosystem (dis)service cascade model to navigate sustainability problems and its application in a changing agricultural landscape in Brazil. Sustain Sci. https://doi.org/10.1007/s11625-021-01049-z

Blanco J, Dendoncker N, Barnaud C, Sirami C (2019) Ecosystem disservices matter: Towards their systematic integration within ecosystem service research and policy. Ecosystem Services 36:100913. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100913

Blandi ML, Cavalcante MS, Gargoloff NA, Sarandón SJ (2016) Prácticas, conocimientos y percepciones que dificultan la conservación de la agrobiodiversidad. El caso del Cinturón Hortícola Platense, Argentina. Cuad Des Rural 13:97. https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr13-78.pcpd

Brandt P, Ernst A, Gralla F, et al (2013) A review of transdisciplinary research in sustainability science. Ecological Economics 92:1–15. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.04.008

Brondízio ES, Aumeeruddy-Thomas Y, Bates P, et al (2021) Locally Based, Regionally Manifested, and Globally Relevant: Indigenous and Local Knowledge, Values, and Practices for Nature. Annu Rev Environ Resour 46:481–509. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-012127

Brush SB (2008) Crop and Society in Centers of Diversity. In: Farmers' Bounty. Yale University Press, pp 70–97

Caniço A, Mexia A, Santos L (2020) First Report of Native Parasitoids of Fall Armyworm Spodoptera frugiperda Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Mozambique. Insects 11:615. https://doi.org/10.3390/insects11090615

Caniço A, Mexia A, Santos L (2020) Seasonal Dynamics of the Alien Invasive Insect Pest Spodoptera frugiperda Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Manica Province, Central Mozambique. Insects 11:512. https://doi.org/10.3390/insects11080512

Christmann S, Aw-Hassan A, Güler Y, et al (2021) Two enabling factors for farmer-driven pollinator protection in low- and middle-income countries. International Journal of Agricultural Sustainability 1–14. https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1916254

Christmann S, Aw-Hassan A, Rajabov T, et al (2017) Farming with alternative pollinators increases yields and incomes of cucumber and sour cherry. Agronomy for Sustainable Development 37:. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0433-y

Contreras Cortés LEU, Vázquez García A, Aldasoro Maya EM, Mérida Rivas J (2020) Conocimiento de las abejas nativas sin aguijón y cambio generacional entre los mayas lacandones de Nahá, Chiapas. ecm 56:205–225. https://doi.org/10.19130/iifl.ecm.2020.56.2.0008

Costa-Neto E (2000) The Significance of the Category "Insect" for Folk Biological Classification Systems. JEA 4:70–75. https://doi.org/10.5038/2162-4593.4.1.4

Crespo-Pérez V, Kazakou E, Roubik DW, Cárdenas RE (2020) The importance of insects on land and in water: a tropical view. Current Opinion in Insect Science 40:31–38. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.05.016

Crespo-Pérez V, Rebaudo F, Silvain J-F, Dangles O (2011) Modeling invasive species spread in complex landscapes: the case of potato moth in Ecuador. Landscape Ecol 26:1447–1461. https://doi.org/10.1007/s10980-011-9649-4

Dangles O, Carpio FC, Villares M, et al (2010) Community-Based Participatory Research Helps Farmers and Scientists to Manage Invasive Pests in the Ecuadorian Andes. AMBIO 39:325–335. https://doi.org/10.1007/s13280-010-0041-4

Dangles O, Casas J (2019) Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. Ecosystem Services 35:109–115. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.002

Diatte M, Brévault T, Sall-Sy D, Diarra K (2018) Parasitoid control of the tomato fruitworm, Helicoverpa armigera , in smallholder farmer fields in Senegal. International Journal of Pest Management. 64:140–147. https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1346328

Díaz S, Pascual U, Stenseke M, et al (2018) Assessing nature's contributions to people. Science 359:270–272. https://doi.org/10.1126/science.aap8826

Djuideu TCL, Bisseleua DHB, Kekeunou S, et al (2020) Plant community composition and functional characteristics define invasion and infestation of termites in cocoa agroforestry systems. Agroforest Syst 94:185–201. https://doi.org/10.1007/s10457-019-00380-w

Dormann C, Gruber B, Fruend J (2008) Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. R news Vol 8/2, 8 - 11.

Duffus NE, Christie CR, Morimoto J (2021) Insect Cultural Services: How Insects Have Changed Our Lives and How Can We Do Better for Them. Insects 12:377. https://doi.org/10.3390/insects12050377

Egan PA, Dicks LV, Hokkanen HMT, Stenberg JA (2020) Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM). Trends in Plant Science 25:577–589. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006

Elisante F, Ndakidemi PA, Arnold SEJ, et al (2019) Enhancing knowledge among smallholders on pollinators and supporting field margins for sustainable food security. Journal of Rural Studies 70:75–86. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.07.004

FAO. (2003). World agriculture: Towards 2015/2030: An FAO perspective. FAO.

FAO. (2010). Policies and institutions to support smallholder agriculture. FAO.

FAO. (2014). Innovation in family farming. Rome: FAO.

FAO. (2016). Climate change, agriculture and food security. Rome: FAO.

FAO. (2017). Defining small-scale food producers to monitor target 2.3 of the 2030 agenda for sustainable development (FAO Statistical Division Working Paper Series ESS/17-12). Rome: FAO.

FAO. (2018). Transforming food and agriculture to achieve the SDGs: 20 interconnected actions to guide decision-makers. FAO.

Gaba S, Bretagnolle F, Rigaud T, Philippot L (2014) Managing biotic interactions for ecological intensification of agroecosystems. Front Ecol Evol 2:. https://doi.org/10.3389/fevo.2014.00029

Gagic V, Marcora A, Howie L (2019) Additive and interactive effects of pollination and biological pest control on crop yield. J Appl Ecol 56:2528–2535. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13482

Grames E, Stillman A, Tingley M, Elphick C (2020) _litsearchr: Automated Search Term Selection and Search Strategy for Systematic Reviews_. R package version 1.0.0.

Grames EM, Stillman AN, Tingley MW, Elphick CS (2019) An automated approach to identifying search terms for systematic reviews using keyword co-occurrence networks. Methods Ecol Evol 10:1645–1654. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13268

Gurr, G. M., Scarratt, S., Wratten, S. D., et al. (2004). Ecological engineering, habitat manipulation and pest management. In G. M. Gurr, S. D. Wratten, & M. A. Altieri (Eds.), Ecological engineering for pest management: Advances in habitat manipulation for arthropods (pp. 1-12). CABI Publishing.

Gurr GM, Wratten SD, Luna JM (2003) Multi-function agricultural biodiversity: pest management and other benefits. Basic and Applied Ecology 4:107–116. https://doi.org/10.1078/1439-1791-00122

Giagnocavo Higgins, J. P., Thomas, J., Chandler, J., et al. (2019). Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. John Wiley & Sons.

Hill R, Adem Ç, Alangui WV, et al (2020) Working with Indigenous, local and scientific knowledge in assessments of nature and nature's linkages with people. Current Opinion in Environmental Sustainability 43:8–20. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.12.006

International Fund for Agricultural Development (IFAD) (2013) Small holders, food security and the environment. IFAD, Rome, Italy.

IPBES (2016) The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany

Jahn T, Bergmann M, Keil F (2012) Transdisciplinarity: Between mainstreaming and marginalization. Ecological Economics 79:1–10. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.04.017

Kansiime MK, Girling RD, Mugambi I, et al (2021) Rural livelihood diversity and its influence on the ecological intensification potential of smallholder farms in Kenya. Food Energy Secur 10:. https://doi.org/10.1002/fes3.254

Kanter DR, Schwoob M-H, Baethgen WE, et al (2016) Translating the Sustainable Development Goals into action: A participatory backcasting approach for developing national agricultural transformation pathways. Global Food Security 10:71–79. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.08.002

Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, et al (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proc R Soc B 274:303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Krause RJ, Vaccaro I, Aswani S (2010) Challenges in Building Insect Ethnobiological Classifications in Roviana, Solomon Islands. Journal of Ethnobiology 30:308–320. https://doi.org/10.2993/0278-0771-30.2.308

Landis DA, Saidov N, Jaliov A, et al (2016) Demonstration of an Integrated Pest Management Program for Wheat in Tajikistan. J Integr Pest Manag 7:11. https://doi.org/10.1093/jipm/pmw010

Liebig T, Jassogne L, Rahn E, et al (2016) Towards a Collaborative Research: A Case Study on Linking Science to Farmers' Perceptions and Knowledge on Arabica Coffee Pests and Diseases and Its Management. PLoS ONE 11:e0159392. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159392

Lowder SK, Skoet J, Raney T (2016) The Number, Size, and Distribution of Farms, Smallholder Farms, and Family Farms Worldwide. World Development 87:16–29. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.10.041

Lundin O, Rundlöf M, Jonsson M, et al (2021) Integrated pest and pollinator management – expanding the concept. Front Ecol Environ 19:283–291. https://doi.org/10.1002/fee.2325

Lundin O, Smith HG, Rundlöf M, Bommarco R (2013) When ecosystem services interact: crop pollination benefits depend on the level of pest control. Proc R Soc B 280:20122243. https://doi.org/10.1098/rspb.2012.2243

Marques MF, Hautequestt AP, Oliveira UB, et al (2017) Local knowledge on native bees and their role as pollinators in agricultural communities. J Insect Conserv 21:345–356. https://doi.org/10.1007/s10841-017-9981-3

Medeiros HR, Grandinete YC, Manning P, et al (2019) Forest cover enhances natural enemy diversity and biological control services in Brazilian sun coffee plantations. Agron Sustain Dev 39:50. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0600-4

Mendoza JR, Sabillón L, Martinez W, et al (2017) Traditional maize post-harvest management practices amongst smallholder farmers in Guatemala. Journal of Stored Products Research 71:14–21. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.12.007

Mengist W, Soromessa T, Legese G (2020) Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. MethodsX 7:100777. https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777

Meza L (2014) La agricultura familiar y el cambio climático. La agricultura familiar en América Latina y el caribe: Recomendaciones de política 79–100

Midega CAO, Murage AW, Pittchar JO, Khan ZR (2016) Managing storage pests of maize: Farmers' knowledge, perceptions and practices in western Kenya. Crop Protection 90:142–149. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.033

Millennium Ecosystem Assessment (Program) (2005) Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC

Mkenda PA, Ndakidemi PA, Stevenson PC, et al (2020) Knowledge gaps among smallholder farmers hinder adoption of conservation biological control. Biocontrol Science and Technology 30:256–277. https://doi.org/10.1080/09583157.2019.1707169

Motzke I, Tscharntke T, Wanger TC, Klein A-M (2015) Pollination mitigates cucumber yield gaps more than pesticide and fertilizer use in tropical smallholder gardens. J Appl Ecol 52:261–269. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12357

Munyuli T, Cihire K, Rubabura D, et al (2017) Farmers' perceptions, believes, knowledge and management practices of potato pests in South-Kivu Province, eastern of Democratic Republic of Congo. Open Agriculture 2:362–385. https://doi.org/10.1515/opag-2017-0040

Noriega JA, Hortal J, Azcárate FM, et al (2018) Research trends in ecosystem services provided by insects. Basic and Applied Ecology 26:8–23. https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.09.006

Novais SMA, Macedo-Reis LE, DaRocha WD, Neves FS (2016) Effects of habitat management on different feeding guilds of herbivorous insects in cacao agroforestry systems. Rev Biol Trop 64:16

Nuñez MA, Amano T (2021) Monolingual searches can limit and bias results in global literature reviews. Nat Ecol Evol 5:264–264. https://doi.org/10.1038/s41559-020-01369-w

Okonya J, Ocimati W, Nduwayezu A, et al (2019) Farmer Reported Pest and Disease Impacts on Root, Tuber, and Banana Crops and Livelihoods in Rwanda and Burundi. Sustainability 11:1592. https://doi.org/10.3390/su11061592

Palomo-Campesino S, González J, García-Llorente M (2018) Exploring the Connections between Agroecological Practices and Ecosystem Services: A Systematic Literature Review. Sustainability 10:4339. https://doi.org/10.3390/su10124339

Parsa S, Morse S, Bonifacio A, et al (2014) Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. Proc Natl Acad Sci USA 111:3889–3894. https://doi.org/10.1073/pnas.1312693111

Popak AE, Markwith SH (2019) Economic Valuation of Bee Pollination Services for Passion Fruit (Malpighiales: Passifloraceae) Cultivation on Smallholding Farms in São Paulo, Brazil, Using the Avoided Cost Method. Journal of Economic Entomology 112:2049–2054. https://doi.org/10.1093/jee/toz169

Pretty JN (1995) Participatory learning for sustainable agriculture. World Development 23:1247–1263. https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00046-F

R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria

Rader R, Bartomeus I, Garibaldi LA, et al (2016) Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. Proc Natl Acad Sci USA 113:146–151. https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112

Rawluk A, Saunders ME (2019) Facing the gap: exploring research on local knowledge of insect-provided services in agroecosystems. International Journal of Agricultural Sustainability 17:108–117. https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1567244

Rodríguez, B. G., Machado, J. A. M., Herrera, R. L., & Reyes, R. D. R. (2020). Caracterización de la meliponicultura en dos ecosistemas de la provincia de Cienfuegos. Revista Científica Agroecosistemas, 8(2), 6-9.

Rusch, A., Delbac, L., & Thiéry, D. (2017). Grape moth density in Bordeaux vineyards depends on local habitat management despite effects of landscape heterogeneity on their biological control. Journal of Applied Ecology, 54(6), 1794-1803. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12858

Salcedo S, De La O (2014) De la O, AP, & Guzmán, L.(2014). El concepto de agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política 17–34.

Samberg LH, Gerber JS, Ramankutty N, et al (2016) Subnational distribution of average farm size and smallholder contributions to global food production. Environ Res Lett 11:124010. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/12/124010

Sankara, F., Sanou, A. G., Waongo, A., Somda, M., Toé, P., & Somda, I. (2017). Pratique paysanne post récolte du maïs dans la région des Hauts-Bassins du Burkina Faso. Journal of Animal & Plant Sciences, 33, 5274-5288.

Sawe T, Nielsen A, Eldegard K (2020) Crop Pollination in Small-Scale Agriculture in Tanzania: Household Dependence, Awareness and Conservation. Sustainability 12:2228. https://doi.org/10.3390/su12062228

Scialabba, N. E. H., Pacini, G. A. I. O., & Moller, S. (2014). Smallholder ecologies. FAO

Shackleton CM, Ruwanza S, Sinasson Sanni GK, et al (2016) Unpacking Pandora's Box: Understanding and Categorising Ecosystem Disservices for Environmental Management and Human Wellbeing. Ecosystems 19:587–600. https://doi.org/10.1007/s10021-015-9952-z

Shapiro J, Báldi A (2014) Accurate accounting: How to balance ecosystem services and disservices. Ecosystem Services 7:201–202. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.01.002

Sisay B, Simiyu J, Malusi P, et al (2018) First report of the fall armyworm, Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. J Appl Entomol 142:800–804. https://doi.org/10.1111/jen.12534

Smith BM, Chakrabarti P, Chatterjee A, et al (2017) Collating and validating indigenous and local knowledge to apply multiple knowledge systems to an environmental challenge: A case-study of pollinators in India. Biological Conservation 211:20–28. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.032

Stern MJ (2018) Social Science Theory for Environmental Sustainability: A Practical Guide. Oxford University Press

Steward PR, Shackelford G, Carvalheiro LG, et al (2014) Pollination and biological control research: are we neglecting two billion smallholders. Agric & Food Secur 3:5. https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-5

Struelens Q, Silvie P (2020) Orienting insecticide research in the tropics to meet the sustainable development goals. Current Opinion in Insect Science 40:24–30. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.05.015

Tarakini G, Chemura A, Musundire R (2020) Farmers' Knowledge and Attitudes Toward Pollination and Bees in a Maize-Producing Region of Zimbabwe: Implications for Pollinator Conservation. Tropical Conservation Science 13:194008292091853. https://doi.org/10.1177/1940082920918534

Vidogbéna F, Adégbidi A, Tossou R, et al (2016) Exploring factors that shape small-scale farmers' opinions on the adoption of eco-friendly nets for vegetable production. Environ Dev Sustain 18:1749–1770. https://doi.org/10.1007/s10668-015-9717-z

Westgate M (2019) _revtools: Tools to Support Evidence Synthesis_. R package version 0.4.1

Westgate M, Grames E (2020) synthesisr: Import, Assemble, and Deduplicate Bibliographic Datasets. R package version 0.3.0.

Wohlin, C. (2014, May). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In Proceedings of the 18th international conference on evaluation and assessment in software engineering (pp. 1-10).

Wyckhuys, K. A. G., Heong, K. L., Sanchez-Bayo, F., Bianchi, F. J. J. A., Lundgren, J. G., & Bentley, J. W. (2019). Ecological illiteracy can deepen farmers' pesticide dependency. Environmental Research Letters, 14(9), 093004. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab34c9

Zehnder G, Gurr GM, Kühne S, et al (2007) Arthropod Pest Management in Organic Crops. Annu Rev Entomol 52:57–80. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091337

Zhang W, Ricketts TH, Kremen C, et al (2007) Ecosystem services and dis-services to agriculture. Ecological Economics 64:253–260. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024

Zou Y, Xiao H, Bianchi FJJA, et al (2017) Wild pollinators enhance oilseed rape yield in small-holder farming systems in China. BMC Ecol 17:6. https://doi.org/10.1186/s12898-017-0116-1

Références Chapitre 3

Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35–42. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2

Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2005). Natural resource management among small-scale farmers in semi-arid lands: building on traditional knowledge and agroecology. *Annals of Arid zone*, *44*(3/4), 365.,

Barua, M., Gurdak, D. J., Ahmed, R. A., & Tamuly, J. (2012). Selecting flagships for invertebrate conservation. Biodiversity and Conservation, 21(6), 1457–1476. https://doi.org/10.1007/s10531-012-0257-7

Altieri, M. A., Funes-Monzote, F. R., & Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, *32*(1), 1–13. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6

Beaudreau, A. H., Levin, P. S., & Norman, K. C. (2011). Using folk taxonomies to understand stakeholder perceptions for species conservation: Folk taxonomies and stakeholder perceptions. Conservation Letters, 4(6), 451–463. https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2011.00199.x

Benavides, M. G. Z., Léonard, E., & Carrière, S. M. (2012). Integración mercantil de la milpa campesina y transformación de los conocimientos locales agrícolas. Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica, 18, 37-51.

Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (Eds.). (2000). *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press. Pretty 1995

Berlin, B. (1992). Ethnobiological classification: Principles of categorization of plants and animals in traditional societies. Princeton Univ. Press.

Biddinger DJ, Rajotte EG (2015) Integrated pest and pollinator management — adding a new dimension to an accepted paradigm. *Current Opinion in Insect Science* 10:204–209. https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.012

Boster, J. S. (1986). Exchange of varieties and information between Aguaruna manioc cultivators. *American Anthropologist*, *88*(2), 428-436. Bang et al. 2007

Brondízio, E. S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bates, P., Carino, J., Fernández-Llamazares, Á., Ferrari, M. F., ... & Shrestha, U. B. (2021). Locally based, regionally manifested, and globally relevant: Indigenous and local knowledge, values, and practices for nature. Annual Review of Environment and Resources, 46(1), 481-509. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-012127

Chitere PO, Omolo BA. Farmers' indigenous knowledge of crop pests and their damage in western Kenya. International Journal of Pest Management. 1993; 39(2):126–132. Available from: http://dx.doi.org/10.1080/09670879309371776

Costa-Neto, E. M., & Magalhães, H. F. (2007). The ethnocategory''insect''in the conception of the inhabitants of Tapera County, São Gonçalo dos Campos, Bahia, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, *79*, 239-249.

Courcoux, P. (2017). FreeSortR: Free Sorting Data Analysis. R package version, 1.

Dangles O, Casas J (2019) Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. *Ecosystem Services* 35:109–115. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.002

Didham, R. K., Basset, Y., Collins, C. M., Leather, S. R., Littlewood, N. A., Menz, M. H., ... & Hassall, C. (2020). Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward. Insect Conservation and Diversity, 13(2), 103-114. https://doi.org/10.1111/icad.12408

Diemer, N., Staudacher, P., Atuhaire, A., Fuhrimann, S., & Inauen, J. (2020). Smallholder farmers' information behavior differs for organic versus conventional pest management strategies: A qualitative study in Uganda. *Journal of cleaner production*, *257*, 120465. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120465

Egan, P. A., Dicks, L. V., Hokkanen, H. M. T., & Stenberg, J. A. (2020). Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM). *Trends in Plant Science*, 25(6), 577–589. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006

Fernández-Llamazares, Á., Lepofsky, D., Lertzman, K., Armstrong, C. G., Brondizio, E. S., Gavin, M. C., ... & Vaughan, M. B. (2021). Scientists' warning to humanity on threats to indigenous and local knowledge systems. *Journal of Ethnobiology*, *41*(2), 144-169.

Giagnocavo, C., de Cara-García, M., González, M., Juan, M., Marín-Guirao, J. I., Mehrabi, S., ... &

Crisol-Martínez, E. (2022). Reconnecting farmers with nature through agroecological transitions: interacting niches and experimentation and the role of agricultural knowledge and innovation systems. *Agriculture*, *12*(2), 137. https://doi.org/10.3390/agriculture12020137

Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957. https://doi.org/10.1126/science.1255957

Gurung AB (2003) Insects – a mistake in God's creation? Tharu farmers' perception and knowledge of insects: A case study of Gobardiha Village Development Committee, Dang-Deukhuri, Nepal. *Agriculture and Human Values* 20:337–370. https://doi.org/10.1023/B:AHUM.0000005149.30242.7f

Harris, D. B. S. R., Raghuwanshi, B. S., Gangwar, J. S., Singh, S. C., Joshi, K. D., Rashid, A., & Hollington, P. A. (2001). Participatory evaluation by farmers of on-farm seed priming in wheat in India, Nepal and Pakistan. *Experimental Agriculture*, *37*(3), 403-415.

Hunn, E. (1982). The utilitarian factor in folk biological classification. *American anthropologist*, *84*(4), 830-847. https://doi.org/10.1525/aa.1982.84.4.02a00070

information behavior differs for organic versus conventional pest management strategies: A qualitative study in Uganda. Journal of Cleaner Production, 257, 120465. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120465

Kellert, S. R. (1993). Values and perceptions of invertebrates. *Conservation biology*, *7*(4), 845-855.

Klingelhöfer, D., Braun, M., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2022). Neonicotinoids: A critical assessment of the global research landscape of the most extensively used insecticide. *Environmental Research*, *213*, 113727.

Lemelin Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S. A., Mayfield, M. M., Arthur, A. D., Andersson, G. K. S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Entling, M. H., Foully, B., Freitas, B. M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., … Woyciechowski, M. (2016). Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 146–151. https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112

Lundin, O., Rundlöf, M., Jonsson, M., Bommarco, R., & Williams, N. M. (2021). Integrated pest and pollinator management–expanding the concept. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *19*(5), 283-291. https://doi.org/10.1002/fee.2325.

Medeiros, M. C., Pinto, A. S., dos Santos, D. R., Martel, G., de Faria Lopes, S., & da Silva Mourão, J. (2022). Folk taxonomy and scientific nomenclature: Working together for conservation of fishery resources in Brazil. Journal for Nature Conservation, 68, 126214.

Melash, A. A., Bogale, A. A., Migbaru, A. T., Chakilu, G. G., Percze, A., Ábrahám, É. B., & Mengistu, D. K. (2023). Indigenous agricultural knowledge: A neglected human based resource for sustainable crop protection and production. Heliyon, 9(1).

Mina, D., Dangles, O., Campo, P., Rivera, M., & López, G. (2020). Investigación participativa para desarrollar y aplicar estrategias de manejo integrado de plagas: Experiencia en cultivo de chocho, Ecuador. LEISA Revista de Agroecología, 36(2). https://leisa-al.info/index.php/journal/article/view/68

Morales, H., & Perfecto, I. (2000). Traditional knowledge and pest management in the Guatemalan highlands. Agriculture and Human Values, 17, 49-63.

Morris, M. G., Collins, N. M., Vane-Wright, R. I., & Waage, J. (1991). The Utilization and Value of Non-domesticated Insects. *In The Conservation of Insects and their Habitats* (pp. 319–347). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-181370-3.50019-1

Navarrete, I., Andrade-Piedra, J. L., López, V., Yue, X., Herrera, J., Barzallo, M., Quimbiulco, K., Almekinders, C. J. M., & Struik, P. C. (2023). Farmers Experiencing Potato Seed Degeneration Respond but Do Not Adjust Their Seed Replacement Strategies in Ecuador. American Journal of Potato Research, 100(1), 39–51. https://doi.org/10.1007/s12230-022-09893-0

Okolle, N. J., Afari-Sefa, V., Bidogeza, J. C., Tata, P. I., & Ngome, F. A. (2016). An evaluation of smallholder farmers' knowledge, perceptions, choices and gender perspectives in vegetable pests and diseases control practices in the humid tropics of Cameroon. International Journal of Pest Management, 62(3), 165-174.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., ... & Oksanen, M. J. (2022). Package 'vegan'. Community ecology package, version, 2.4.

Outhwaite, C.L., McCann, P. & Newbold, T. Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature* 605, 97–102 (2022). https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x

Padron, P. S., Vásquez, C. B., Durán, S. C., Pezo, K. V., Loyola, N. A., & Junghanns, A. (2021). Use of colored pan traps method for monitoring insect (Diptera and Hymenoptera) diversity in the Southern Tropical Andes of Ecuador. International Journal of Tropical Insect Science, 41, 643-652.

Parraguez-Vergara, E., Contreras, B., Clavijo, N., Villegas, V., Paucar, N., & Ther, F. (2018). Does indigenous and campesino traditional agriculture have anything to contribute to food sovereignty in Latin America? Evidence from Chile, Peru, Ecuador, Colombia, Guatemala and Mexico. International Journal of Agricultural Sustainability, 16(4-5), 326-341.

Perchonock, N., & Werner, O. (1969). Navaho systems of classification: some implications for ethnoscience. *Ethnology*, *8*(3), 229-242.

Perez, C., Nicklin, C., Dangles, O., Vanek, S., Sherwood, S., Halloy, S., Garrett, K. A., & Forbes, G. (2010). Climate Change in the High Andes: Implications and Adaptation Strategies for Small-scale Farmers. The International Journal of Environmental, Cultural, Economic, and Social Sustainability: Annual Review, 6(5), 71–88. https://doi.org/10.18848/1832-2077/CGP/v06i05/54835

Pimbert, M. (2016). Food sovereignty, agroecology and biocultural diversity. Routledge.

Pimbert, M. P. (2017). Constructing knowledge for food sovereignty, agroecology and biocultural diversity: An overview. *Food Sovereignty, Agroecology and Biocultural Diversity*.

Posey, D. A. (1982). Ethnomethodology as an emic guide to cultural systems: The case of the insects and the Kayapó Indians of Amazonia. *Revista Brasileira de Zoologia*, 1(3), 135–144. https://doi.org/10.1590/S0101-81751982000300001

Price, L. L. (2001). Demystifying farmers' entomological and pest management knowledge: a methodology for assessing the impacts on knowledge from IPM-FFS and NES interventions. Agriculture and human values, 18, 153-176.

Price, L. L., & Björnsen Gurung, A. (2006). Describing and measuring ethno-entomological knowledge of rice pests: tradition and change among Asian rice farmers. *Environment, Development and Sustainability*, *8*, 507-517.

Purzycki, B. G., & Jamieson-Lane, A. (2017). AnthroTools: An R package for cross-cultural ethnographic data analysis. Cross-Cultural Research, 51(1), 51-74.

Rawluk, A., & Saunders, M. E. (2019). Facing the gap: Exploring research on local knowledge of insect-provided services in agroecosystems. *International Journal of Agricultural Sustainability,* 17(1), 108–117. https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1567244

Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*, 232, 8-27.

Saunders, M. E., Peisley, R. K., Rader, R., & Luck, G. W. (2016). Pollinators, pests, and predators: Recognizing ecological trade-offs in agroecosystems. *Ambio*, *45*, 4-14. https://doi.org/10.1007/s13280-015-0696-y

Seignobos, C., Deguine, J. P., & Aberlenc, H. P. (1996). Les Mofu et leurs insectes.

Shipley, N. J., & Bixler, R. D. (2019). An unconventional approach to fostering entomological literacy. American Entomologist, 65(1), 19-23.

Smith, J. J. (1993). Using ANTHOPAC 3.5 and a spreadsheet to compute a free-list salience index. CAM, 5(3), 1-3.

Steward PR, Shackelford G, Carvalheiro LG, et al (2014) Pollination and biological control research: are we neglecting two billion smallholders. *Agric & Food Secur* 3:5. https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-5

Struelens, Q., Rivera, M., Zabalaga, M. A., Ccanto, R., Tarqui, R. Q., Mina, D., Carpio, C., Mantilla, M. R. Y., Osorio, M., Roman, S., Muñoz, D., & Dangles, O. (2022). Pesticide misuse among small Andean farmers stems from pervasive misinformation by retailers. PLOS Sustainability and Transformation, 1(6), e0000017. https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000017

Struelens, Q., Mina, D., & Dangles, O. (2024). Landscape's social and ecological services are equally valued by Andean farmers to decide where to grow a crop. Mountain Research and Development, in Press.

Tobes, I., Carrillo-Moreno, C., Guarderas-Flores, L., Jácome-Negrete, I., & Velázquez-Cárdenas, Y. (2022). Ethnoichthyology and ethnotaxonomy of the Kichwa Indigenous people of Arawanu (Arajuno), in the Ecuadorian Amazon. Frontiers in Ecology and Evolution, 10, 826781.

Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H. T., Potts, S. G., Settele, J., Skrimizea, E., & Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In Advances in Ecological Research (Vol. 63, pp. 193–253). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002

Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H. T., Potts, S. G., Settele, J., Skrimizea, E., & Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In Advances in Ecological Research (Vol. 63, pp. 193–253). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002

Wagner, D. L., Grames, E. M., Forister, M. L., Berenbaum, M. R., & Stopak, D. (2021). Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 118(2), 1–10.

Weiskopf, D. A. (2020). Representing and coordinating ethnobiological knowledge. Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences, 84, 101328. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2020.101328

Wyckhuys, K. A., & O'Neil, R. J. (2007). Local agro-ecological knowledge and its relationship to farmers' pest management decision making in rural Honduras. *Agriculture and Human Values*, *24*, 307-321.

Wyckhuys, K. A. G., Heong, K. L., Sanchez-Bayo, F., Bianchi, F. J. J. A., Lundgren, J. G., & Bentley, J. W. (2019). Ecological illiteracy can deepen farmers' pesticide dependency. Environmental Research Letters, 14(9), 093004.

Yeleliere, E., Yeboah, T., Antwi-Agyei, P., & Peprah, P. (2022). Traditional agroecological knowledge and practices: The drivers and opportunities for adaptation actions in the northern region of Ghana. Regional Sustainability, 3(4), 294–308. https://doi.org/10.1016/j.regsus.2022.11.002

Zamudio, F., & Hilgert, N. I. (2015). Multi-dimensionality and variability in folk classification of stingless bees (Apidae: Meliponini). Journal of ethnobiology and ethnomedicine, 11, 1-16.

Zimmerer, K. S., Carney, J. A., & Vanek, S. J. (2015). Sustainable smallholder intensification in global change? Pivotal spatial interactions, gendered livelihoods, and agrobiodiversity. Current Opinion in Environmental Sustainability, 14, 49–60. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.03.004

Références Chapitre 4

Albuquerque, U. P., Cruz Da Cunha, L. V. F., De Lucena, R. F. P., & Alves, R. R. N. (Eds.). (2014). *Methods and Techniques in Ethnobiology and Ethnoecology*. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8636-7

Altieri, M. A. (1993). Ethnoscience and biodiversity: Key elements in the design of sustainable pest management systems for small farmers in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *46*(1), 257–272. https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90029-O

Altieri, M. A. (2002). Agroecology: The science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *93*(1–3), 1–24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3

Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *2*(1), 35–42. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2

Altieri, M. A., Funes-Monzote, F. R., & Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, *32*(1), 1–13. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6

Arias-Arévalo, P., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., & Pérez-Rincón, M. (2018). Widening the Evaluative Space for Ecosystem Services: A Taxonomy of Plural Values and Valuation Methods. *Environmental Values*, *27*(1), 29–53. https://doi.org/10.3197/096327118X15144698637513

Barth, M., Jiménez-Aceituno, A., Lam, D. P., Bürgener, L., & Lang, D. J. (2023). Transdisciplinary learning as a key leverage for sustainability transformations. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *64*, 101361. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101361

Brito, R. M. D., Matlaba, V. J., Imperatriz-Fonseca, V. L., & Giannini, T. C. (2020). Perception of Nature's Contributions to People in Rural Communities in the Eastern Amazon. *Sustainability*, *12*(18), 7665. https://doi.org/10.3390/su12187665

Bruley, E., Locatelli, B., & Lavorel, S. (2021). Nature's contributions to people: Coproducing quality of life from multifunctional landscapes. *Ecology and Society*, *26*. https://doi.org/10.5751/es-12031-260112

Busse, M., Zoll, F., Siebert, R., Bartels, A., Bokelmann, A., & Scharschmidt, P. (2021). How farmers think about insects: Perceptions of biodiversity, biodiversity loss and attitudes towards insect-friendly farming practices. *Biodiversity and Conservation*, *30*(11), 3045–3066. https://doi.org/10.1007/s10531-021-02235-2

Cardenas, T., Struelens, Q., Coro, M., Mina, D., & Dangles, O. (2022). Arthropod-related ecosystem services and disservices in smallholder farming in low and middle income countries. *Current Research in Environmental Sustainability*, *4*, 100133. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100133

Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R. S., Díaz, S., Dietz, T., Duraiappah, A. K., Oteng-Yeboah, A., Pereira, H. M., Perrings, C., Reid, W. V., Sarukhan, J., Scholes, R. J., & Whyte, A. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(5), 1305–1312. https://doi.org/10.1073/pnas.0808772106

Christie, M., Martín-López, B., Church, A., Siwicka, E., Szymonczyk, P., & Mena Sauterel, J. (2019a). Understanding the diversity of values of "Nature 's contributions to people": Insights from the IPBES Assessment of Europe and Central Asia. *Sustainability Science*, *14*(5), 1267–1282. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00716-6

Christie, M., Martín-López, B., Church, A., Siwicka, E., Szymonczyk, P., & Mena Sauterel, J. (2019b). Understanding the diversity of values of "Nature 's contributions to people": Insights from the IPBES Assessment of Europe and Central Asia. *Sustainability Science*, *14*(5), 1267–1282. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00716-6

Christmann, S., Aw-Hassan, A., Rajabov, T., Khamraev, A. S., & Tsivelikas, A. (2017). Farming with alternative pollinators increases yields and incomes of cucumber and sour cherry. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*(4), 24. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0433-y

Cooper, N., Brady, E., Steen, H., & Bryce, R. (2016). Aesthetic and spiritual values of ecosystems: Recognising the ontological and axiological plurality of cultural ecosystem 'services.' *Ecosystem Services*, *21*, 218–229. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.014

Costa-Neto, E. (2000). The Significance of the Category "Insect" for Folk Biological Classification Systems. *Journal of Ecological Anthropology*, *4*(1), 70–75. https://doi.org/10.5038/2162-4593.4.1.4

Dangles, O., & Casas, J. (2019). Ecosystem services provided by insects for achieving sustainable development goals. *Ecosystem Services*, *35*, 109–115. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.002

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., … Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework—Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *14*, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002

Diemer, N., Staudacher, P., Atuhaire, A., Fuhrimann, S., & Inauen, J. (2020). Smallholder farmers' information behavior differs for organic versus conventional pest management strategies: A qualitative study in Uganda. *Journal of Cleaner Production*, *257*, 120465. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120465

Donkersley, P., Ashton, L., Lamarre, G. P. A., & Segar, S. (2022). Global insect decline is the result of wilful political failure: A battle plan for entomology. *Ecology and Evolution*, *12*(10), e9417. https://doi.org/10.1002/ece3.9417

Dunn-Capper, R., Quintero-Uribe, L. C., Pereira, H. M., & Sandom, C. J. (2023). Diverse approaches to nature recovery are needed to meet the varied needs of people and nature. *Sustainability Science*. https://doi.org/10.1007/s11625-023-01337-w

Faichnie, R., Breeze, T. D., Senapathi, D., Garratt, M. P. D., & Potts, S. G. (2021). Scales matter: Maximizing the effectiveness of interventions for pollinators and pollination. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 64, pp. 105–147). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.11.003

Farmar-Bowers, Q., & Lane, R. (2009). Understanding farmers' strategic decision-making processes and the implications for biodiversity conservation policy. *Journal of Environmental Management*, *90*(2), 1135–1144. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.05.002

Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., & Breeze, T. D. (2017). Farming Approaches for Greater Biodiversity, Livelihoods, and Food Security. *Trends in Ecology & Evolution*, *32*(1), 68–80. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001

Gibbs, K. E., Mackey, R. L., & Currie, D. J. (2009). Human land use, agriculture, pesticides and losses of imperiled species. *Diversity and Distributions*, *15*(2), 242–253. https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2008.00543.x

Gillespie, M. A. K., & Wratten, S. D. (2017). The Role of Ecosystem Disservices in Pest Management. In M. Coll & E. Wajnberg (Eds.), *Environmental Pest Management* (1st ed., pp. 175–194). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119255574.ch8

Gurung, A. B. (2003). Insects – a mistake in God 's creation? Tharu farmers' perception and knowledge of insects: A case study of Gobardiha Village Development Committee, Dang-Deukhuri, Nepal. *Agriculture and Human Values*, *20*(4), 337–370. https://doi.org/10.1023/B:AHUM.0000005149.30242.7f

Hall, D. M., & Steiner, R. (2019). Insect pollinator conservation policy innovations: Lessons for lawmakers. In *ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY* (Vol. 93, pp. 118–128). ELSEVIER SCI LTD. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.026

Hill, R., Adem, Ç., Alangui, W. V., Molnár, Z., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bridgewater, P., Tengö, M., Thaman, R., Adou Yao, C. Y., Berkes, F., Carino, J., Carneiro da Cunha, M., Diaw, M. C., Díaz, S., Figueroa, V. E., Fisher, J., Hardison, P., Ichikawa, K., Kariuki, P., … Xue, D. (2020). Working with Indigenous, local and scientific knowledge in assessments of nature and nature 's linkages with people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *43*, 8–20. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.12.006

Hill, R., Nates-Parra, G., Quezada-Euán, J. J. G., Buchori, D., LeBuhn, G., Maués, M. M., Pert, P. L., Kwapong, P. K., Saeed, S., Breslow, S. J., Carneiro Da Cunha, M., Dicks, L. V., Galetto, L., Gikungu, M., Howlett, B. G., Imperatriz-Fonseca, V. L., O'B. Lyver, P., Martín-López, B., Oteros-Rozas, E., … Roué, M. (2019). Biocultural approaches to pollinator conservation. *Nature Sustainability*, *2*(3), 214–222. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0244-z

Himes, A., Muraca, B., Anderson, C. B., Athayde, S., Beery, T., Cantú-Fernández, M., González-Jiménez, D., Gould, R. K., Hejnowicz, A. P., Kenter, J., Lenzi, D., Murali, R., Pascual, U., Raymond, C., Ring, A., Russo, K., Samakov, A.,

Stålhammar, S., Thorén, H., & Zent, E. (2024). Why nature matters: A systematic review of intrinsic, instrumental, and relational values. *BioScience*, *74*(1), 25-43. https://doi.org/10.1093/biosci/biad109

Hipólito, J., Viana, B. F., & Garibaldi, L. A. (2016). The value of pollinator-friendly practices: Synergies between natural and anthropogenic assets. *Basic and Applied Ecology*, *17*(8), 659–667. https://doi.org/10.1016/j.baae.2016.09.003

IPBES. (2016). *Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production* (S.G. Potts, V.L. Imperatriz-Fonseca, H.T. Ngo, J.C. Biesmeijer, T.D. Breeze, L.V. Dicks, L.A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, A.J. Vanbergen, M.A. Aizen, S.A. Cunningham, C. Eardley, B.M. Freitas, N. Gallai, P.G. Kevan, A. Kovács-Hostyánszki, P.K. Kwapong, J. Li, X. Li, D.J. Martins, G. Nates-Parra, J.S. Pettis, R. Rader, & B.F. Viana, Eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. ISBN 978-92-807-3568-0.

IPBES. (2019). *Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (E.S. Brondízio, J. Settele, S. Díaz, & H.T. Ngo, Eds.). IPBES Secretariat. ISBN 978-3-947851-20-1.

Millennium Ecosystem Assessment (Program) (Ed.). (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.

IPBES. (2016). *The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production.* (S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (Eds), p. 552). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

Irvine, K. N., O'Brien, L., Ravenscroft, N., Cooper, N., Everard, M., Fazey, I., Reed, M. S., & Kenter, J. O. (2016). Ecosystem services and the idea of shared values. *Ecosystem Services*, *21*, 184–193. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.001

Jacobs, S., Dendoncker, N., Martín-López, B., Barton, D. N., Gomez-Baggethun, E., Boeraeve, F., McGrath, F. L., Vierikko, K., Geneletti, D., Sevecke, K. J., Pipart, N., Primmer, E., Mederly, P., Schmidt, S., Aragão, A., Baral, H., Bark, R. H., Briceno, T., Brogna, D., … Washbourne, C.-L. (2016). A new valuation school: Integrating diverse values of nature in resource and land use decisions. *Ecosystem Services*, *22*, 213–220. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.007

Jankielsohn, A. (2018). The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, *06*(02), 62–73. https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006

Kadykalo, A. N., López-Rodriguez, M. D., Ainscough, J., Droste, N., Ryu, H., Ávila-Flores, G., Le Clec'h, S., Muñoz, M. C., Nilsson, L., Rana, S., Sarkar, P., Sevecke, K. J., & Harmáčková, Z. V. (2019). Disentangling 'ecosystem services' and 'nature's contributions to people.' *Ecosystems and People*, *15*(1), 269–287. https://doi.org/10.1080/26395916.2019.1669713

Kelemen, E., Nguyen, G., Gomiero, T., Kovács, E., Choisis, J.-P., Choisis, N., Paoletti, M. G., Podmaniczky, L., Ryschawy, J., Sarthou, J.-P., Herzog, F., Dennis, P., & Balázs, K. (2013). Farmers' perceptions of biodiversity: Lessons from a discourse-based deliberative valuation study. *Land Use Policy*, *35*, 318–328. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.06.005

Knapp, J. L., Phillips, B. B., Clements, J., Shaw, R. F., & Osborne, J. L. (2021). Socio-psychological factors, beyond knowledge, predict people's engagement in pollinator conservation. *People and Nature*, *3*(1), 204–220. https://doi.org/10.1002/pan3.10168

Lemelin, R. H., Harper, R. W., Dampier, J., Bowles, R., & Balika, D. (2016). Humans, insects and their interaction: A multi-faceted analysis. *Animal Studies Journal*, *5*(1), 65–79.

Maris, V. (2014). *Nature à vendre: Les limites des services écosystémiques*. https://www.torrossa.com/gs/resourceProxy?an=5063405&publisher=FZZ759

Martin-Clouaire, R. (2018). Ontological Foundation of Ecosystem Services and the Human Dimension of Agroecosystems. *Agricultural Sciences*, *9*, 525–545. https://doi.org/10.4236/as.2018.95036

Mendenhall, C. D., Karp, D. S., Meyer, C. F. J., Hadly, E. A., & Daily, G. C. (2014). Predicting biodiversity change and averting collapse in agricultural landscapes. *Nature*, *509*(7499), 213–217. https://doi.org/10.1038/nature13139

Molina, G. A. R., & Vazquez Pugliese, D. E. (2022). Redesign the agroecosystem through biodiversity: Revising concepts and integrating visions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *46*(10), 1550–1580. https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2121952

Morales, H., & Perfecto, I. (2000). Traditional knowledge and pest management in the Guatemalan highlands. *Agriculture and Human Values*, *17*, 49–63.

O'Connor, S., & Kenter, J. O. (2019). Making intrinsic values work; integrating intrinsic values of the more-than-human world through the Life Framework of Values. *Sustainability Science*, *14*(5), 1247–1265. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00715-7

Osterman, J., Landaverde-González, P., Garratt, M. P. D., Gee, M., Mandelik, Y., Langowska, A., Miñarro, M., Cole, L. J., Eeraerts, M., Bevk, D., Avrech, O., Koltowski, Z., Trujillo-Elisea, F. I., Paxton, R. J., Boreux, V., Seymour, C. L., & Howlett, B. G. (2021). On-farm experiences shape farmer knowledge, perceptions of pollinators, and management practices. *Global Ecology and Conservation*, *32*, e01949. https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01949

Outhwaite, C. L., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature*, *605*(7908), 97–102. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x

Pascual, U., Balvanera, P., & Christie, M. (2023). Editorial overview: Leveraging the multiple values of nature for transformative change to just and sustainable futures — Insights from the IPBES Values Assessment. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *64*, 101359. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101359

Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R. T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S. M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y. S., Amankwah, E., Asah, S. T., … Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *26–27*, 7–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006

Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R. T., Dessane, E. B., Islar, M., & Kelemen, E. (2017). Valuing nature 's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *26*, 7–16.

Pimbert, M. P. (2017). *Food Sovereignty, Agroecology And Biocultural Diversity: Constructing and Contesting Knowledge* (Michel. P. Pimbert, Ed.; 1st ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315666396

Posey, D. A. (1982). Ethnomethodology as an emic guide to cultural systems: The case of the insects and the Kayapó Indians of Amazonia. *Revista Brasileira de Zoologia*, *1*(3), 135–144. https://doi.org/10.1590/S0101-81751982000300001

Pramova, E., Locatelli, B., Valdivia-Díaz, M., Vallet, A., Quispe Conde, Y., Djoudi, H., Colloff, M. J., Bousquet, F., Tassin, J., & Munera Roldan, C. (2022). Sensing, feeling, thinking: Relating to nature with the body, heart and mind. *People and Nature*, *4*(2), 351–364. https://doi.org/10.1002/pan3.10286

Quinlan, M. (2005). Considerations for Collecting Freelists in the Field: Examples from Ethnobotany. *Field Methods*, *17*(3), 219–234. https://doi.org/10.1177/1525822X05277460

Quinlan, M. B. (2017). The Freelisting Method. In P. Liamputtong (Ed.), *Handbook of Research Methods in Health Social Sciences* (pp. 1–16). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2779-6_12-1

Rawluk, A., & Saunders, M. E. (2019). Facing the gap: Exploring research on local knowledge of insect-provided services in agroecosystems. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *17*(1), 108–117. https://doi.org/10.1080/14735903.2019.1567244

Reyes-García, V., Huanca, T., Vadez, V., Leonard, W., & Wilkie, D. (2006). Cultural, Practical, and Economic Value of Wild Plants: A Quantitative Study in the Bolivian Amazon. *Economic Botany*, *60*(1), 62–74. https://doi.org/10.1663/0013-0001(2006)60[62:CPAEVO]2.0.CO;2

Rodríguez-Bustos, L., Galicia, L., Benítez, M., Palacios-Rojas, N., & Ramos, I. (2023). Implementing the nature 's contributions framework: A case study based on farm typologies in small-scale agroecosystems from the Mexico highlands. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*, 1009447. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1009447

Scholte, S. S. K., van Teeffelen, A. J. A., & Verburg, P. H. (2015). Integrating socio-cultural perspectives into ecosystem service valuation: A review of concepts and methods. *Ecological Economics*, *114*, 67–78. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.007

Steward, P. R., Shackelford, G., Carvalheiro, L. G., Benton, T. G., Garibaldi, L. A., & Sait, S. M. (2014). Pollination and biological control research: Are we neglecting two billion smallholders? *Agriculture & Food Security*, *3*(1), 5. https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-5

Struelens, Q. F., Rivera, M., Zabalaga, M. A., Ccanto, R., Tarqui, R. Q., Mina, D., Carpio, C., Mantilla, M. R. Y., Osorio, M., Roman, S., Muñoz, D., & Dangles, O. (2022). Pesticide misuse among small Andean farmers stems from pervasive misinformation by retailers. *PLOS Sustainability and Transformation*, *1*(6), e0000017. https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000017

Šūmane, S., Kunda, I., Knickel, K., Strauss, A., Tisenkopfs, T., Rios, I. des I., Rivera, M., Chebach, T., & Ashkenazy, A. (2018). Local and farmers' knowledge matters! How integrating informal and formal knowledge enhances sustainable and resilient agriculture. *Journal of Rural Studies*, *59*, 232–241. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.01.020

Tamburini, D., Zamudio, F., & Cáceres, D. (2021). Multiple assessments to value wild animals in the analysis of human-wildlife relationships: A case study in the Dry Chaco of Córdoba, Argentina. *Ethnobiology and Conservation*, *10*. https://doi.org/10.15451/ec2021-08-10.29-1-21

Tarakini, G., Chemura, A., & Musundire, R. (2020). Farmers' Knowledge and Attitudes Toward Pollination and Bees in a Maize-Producing Region of Zimbabwe: Implications for Pollinator Conservation. *Tropical Conservation Science*, *13*, 194008292091853. https://doi.org/10.1177/1940082920918534

Tripathi, H. G., Smith, H. E., Sallu, S. M., Machera, S. D., Florence, M., Maburuki, M., Maurice, S., Kunin, W. E., & Sait, S. M. (2024). Farmers' biodiversity knowledge improves natural enemy conservation in agricultural ecosystems. *Crop Protection*, *183*, 106777. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2024.106777

van der Sluijs, J. P. (2020). Insect decline, an emerging global environmental risk. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *46*, 39–42. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.08.012

Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H. T., Potts, S. G., Settele, J., Skrimizea, E., & Young, J. C. (2020). Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature 's contributions to people, agriculture and food security. In *Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193–253). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002

Wyckhuys, K. A. G., Sasiprapa, W., Taekul, C., & Kondo, T. (2020). Unsung heroes: Fixing multifaceted sustainability challenges through insect biological control. In *Current Opinion In Insect Science* (Vol. 40, pp. 77–84). ELSEVIER. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.05.012

Références chapitre 5

Abid, M., Schilling, J., Scheffran, J., & Zulfiqar, F. (2016). Climate change vulnerability, adaptation and risk perceptions at farm level in Punjab, Pakistan. *Science of the Total Environment*, 547, 447–460. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.125

Abrol, D. P. (2011). Pollination Biology: Biodiversity conservation and agricultural production. In Pollination Biology: Biodiversity *Conservation and Agricultural Production* (p. 792). https://doi.org/10.1007/978-94-007-1942-2

Alam, Md. M., Siwar, C., Talib, B., & Abu N.M. Wahid. (2019). Climatic Changes and Vulnerability of Household Food Utilization in Malaysian East Coast Economic Region [Preprint]. SocArXiv. https://doi.org/10.31235/osf.io/b5mnr

Allen-Perkins, A., Magrach, A., Dainese, M., Garibaldi, L. A., Kleijn, D., Rader, R., Reilly, J. R., Winfree, R., Lundin, O., McGrady, C. M., Brittain, C., Biddinger, D. J., Artz, D. R., Elle, E., Hoffman, G., Ellis, J. D., Daniels, J., Gibbs, J., Campbell, J. W., … Bartomeus, I. (2022). CropPol: A dynamic, open and global database on crop pollination. Ecology, 103(3), e3614. https://doi.org/10.1002/ecy.3614

Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. Frontiers in Ecology and the *Environment*, 2(1), 35–42. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2

Altieri, M. A., Funes-Monzote, F. R., & Petersen, P. (2012). Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: Contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development,* 32(1), 1–13. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0065-6

Andersson, G. K. S., Birkhofer, K., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2013). Landscape heterogeneity and farming practice alter the species composition and taxonomic breadth of pollinator communities. *Basic and Applied Ecology*, 14(7), 540–546. https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.08.003

Baggio, J. A., & Hillis, V. (2018). Managing ecological disturbances: Learning and the structure of social-ecological networks. *Environmental Modelling & Software*, 109, 32–40. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.08.002

Barbosa, B. C., Delgado De Lima, T. D., Mota, G. V., & Nogueira, A. (2023). The role of intraspecific variation in bumblebee body size and behavior on buzz pollination of a tropical legume species. *American Journal of Botany*, 110(11), e16236. https://doi.org/10.1002/ajb2.16236

Barda, M. S., Chatzigeorgiou, T., Papadopoulos, G. K., & Bebeli, P. J. (2021). Agro-Morphological Evaluation of Lupinus mutabilis in Two Locations in Greece and Association with Insect Pollinators. *Agriculture,* 11(3), 236. https://doi.org/10.3390/agriculture11030236

Bartholomée, O., & Lavorel, S. (2019). Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. *Ecological Indicators*, 107, 105576. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105576

Bauer, D. M., & Sue Wing, I. (2016). The macroeconomic cost of catastrophic pollinator declines. *Ecological Economics*, 126, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.011

Bebeli, P. J., Lazaridi, E., Chatzigeorgiou, T., Suso, M.-J., Hein, W., Alexopoulos, A. A., Canha, G., Van Haren, R. J. F., Jóhannsson, M. H., Mateos, C., Neves-Martins, J., Prins, U., Setas, F., Simioniuc, D. P., Talhinhas, P., & Van Den Berg, M. (2020). State and Progress of Andean Lupin Cultivation in Europe: A Review. *Agronomy*, 10(7), 1038. https://doi.org/10.3390/agronomy10071038

Berdegué, J. A., & Fuentealba, R. (2014). The state of smallholders in agriculture in Latin America. In P. B. R. Hazell & A. Rahman (Eds.), New Directions for Smallholder Agriculture (p. 0). *Oxford University Press*. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199689347.003.0005

Bergamo, P. J., Rito, K. F., Viana, B. F., Garcia, E., Lughadha, E. N., Maués, M. M., Rech, A. R., Silva, F. D., Varassin, I. G., & Agostini, K. (2023). Integrating public engagement to intensify pollination services through ecological restoration. *Iscience*, 26(8). https://www.cell.com/iscience/pdf/S2589-0042(23)01353-6.pdf

Berthet, E. T., & Hickey, G. M. (2018). Organizing collective innovation in support of sustainable agro-ecosystems: The role of network management. *Agricultural Systems*, 165, 44–54. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.05.016

Beyer, N., Gabriel, D., Kirsch, F., Schulz-Kesting, K., Dauber, J., & Westphal, C. (2020). Functional groups of wild bees respond differently to faba bean Vicia faba L. cultivation at landscape scale. *Journal of Applied Ecology*, 1365-2664.13745. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13745

Boerema, A., Van Passel, S., & Meire, P. (2018). Cost-Effectiveness Analysis of Ecosystem Management With Ecosystem Services: From Theory to Practice. *Ecological Economics*, 152, 207–218. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.06.005

Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution,* 28(4), 230–238. https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012

Breeze, T. D., Bailey, A. P., Balcombe, K. G., Brereton, T., Comont, R., Edwards, M., Garratt, M. P., Harvey, M., Hawes, C., Isaac, N., Jitlal, M., Jones, C. M., Kunin, W. E., Lee, P., Morris, R. K. A., Musgrove, A., O'Connor, R. S., Peyton, J., Potts, S. G., … Carvell, C. (2020). Pollinator monitoring more than pays for itself. *Journal of Applied Ecology*, 1365-2664.13755. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13755

Breeze, T. D., Gallai, N., Garibaldi, L. A., & Li, X. S. (2016). Economic Measures of Pollination Services: Shortcomings and Future Directions. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(12), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.002

Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177

Caballero, B., & Popkin, B. M. (2002). The Nutrition Transition: Diet and Disease in the Developing World. Academic Press.

Calvo, S., & Morales, A. (2013, July). The Social and Solidarity Economy in Ecuador: Opportunities and challenges [Other]. *Living In Minca*. https://oro.open.ac.uk/85532/

Cardenas, T., Struelens, Q., Coro, M., Mina, D., & Dangles, O. (2022). Arthropod-related ecosystem services and disservices in smallholder farming in low and middle income countries. *Current Research in Environmental Sustainability,* 4, 100133. https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100133

Chalampuente-Flores, D., Bastidas, C. T., & Sørensen, M. (2021). The Andean Lupine-'El Chocho'or 'Tarwi'(Lupinus mutabilis Sweet). *Biodivers*. Online J, 1, 4.

Chalampuente-Flores, D., Mosquera-Losada, M. R., Ron, A. M. D., Tapia Bastidas, C., & Sørensen, M. (2023). Morphological and Ecogeographical Diversity of the Andean Lupine (Lupinus mutabilis Sweet) in the High Andean Region of Ecuador. *Agronomy*, 13(8), 2064. https://doi.org/10.3390/agronomy13082064

Cogle, L. C., Cualchi, D. V. T., Morocho, C. M. P., Torres, D. X. T., & de Aparicio, C. X. P. (2021). La migración de zonas rurales a zonas urbanas en el Ecuador. RECIMUNDO, 5(1 (Suple)), 14–21.

Cowling, W. A., Buirchell, B. J., & Tapia, M. E. (1998). Lupin: Lupinus L. IPGRI.

Daily, G. C., Söderqvist, T., Aniyar, S., Arrow, K., Dasgupta, P., Ehrlich, P. R., Folke, C., Jansson, A., Jansson, B.-O., Kautsky, N., Levin, S., Lubchenco, J., Mäler, K.-G., Simpson, D., Starrett, D., Tilman, D., & Walker, B. (2000). The Value of Nature and the Nature of Value. *Science,* 289(5478), 395–396. https://doi.org/10.1126/science.289.5478.395

Dangles, O., Carpio, C., Barragan, A. R., Zeddam, J.-L., & Silvain, J.-F. (2008). Temperature as a key driver of ecological sorting among invasive pest species in the tropical Andes. Ecological Applications. *Ecological Applications*, 18(7), 1795–1809. https://doi.org/10.1890/07-1638.1

De Luca, P. A., & Vallejo-Marín, M. (2013). What's the "buzz" about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Current Opinion in Plant Biology*, 16(4), 429–435. https://doi.org/10.1016/j.pbi.2013.05.002

Devegili, A. M., & Farji-Brener, A. G. (2021). Association of flower color with pollen reward may explain increased bumblebee visitation to the Scotch broom yellow morph. *Plant Ecology*, 222(12), 1325–1334. https://doi.org/10.1007/s11258-021-01181-x

Dixon, J. A., Gibbon, D. P., Gulliver, A., & Nations, F. and A. O. of the U. (2001). Farming Systems and Poverty: Improving Farmers' Livelihoods in a Changing *World. Food & Agriculture Org*.

Dominik, C., Seppelt, R., Horgan, F., Settele, J., & Václavík, T. (2018). Landscape composition, configuration, and trophic interactions shape arthropod communities in rice agroecosystems. *Journal of Applied Ecology*, 55. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13226

Duelli, P., Obrist, M. K., & Schmatz, D. R. (1999). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: Above-ground insects. In Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes (pp. 33–64). *Elsevier*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444500199500066

Duke, J. M., Dundas, S. J., & Messer, K. D. (2013). Cost-effective conservation planning: Lessons from economics. *Journal of Environmental Management*, 125, 126–133. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.048

Egan, P. A., Dicks, L. V., Hokkanen, H. M. T., & Stenberg, J. A. (2020). Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM). *Trends in Plant Science,* 25(6), 577–589. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006

Elisante, F., Ndakidemi, P., Arnold, S. E. J., Belmain, S. R., Gurr, G. M., Darbyshire, I., Xie, G., & Stevenson, P. C. (2020). Insect pollination is important in a smallholder bean farming system*. PeerJ*, 8, e10102. https://doi.org/10.7717/peerj.10102

Faas, A. J. (2017). Introduction: Twenty-First Century Dynamics of Cooperation and Reciprocity in the Andes. *The Journal of Latin American and Caribbean Anthropology,* 22(3), 409–418. https://doi.org/10.1111/jlca.12305

FAO (Ed.). (2014). Innovation in family farming.

FAO. (2017). Defining small-scale food producers to monitor target 2.3. Of the 2030 agenda for sustainable development. 51. FAO STATISTICAL DIVISION Working Paper Series ESS/17-12, 51.

Fijen, T. P. M., & Kleijn, D. (2017). How to efficiently obtain accurate estimates of flower visitation rates by pollinators. *Basic and Applied Ecology*, 19, 11–18. https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.01.004

Fijen, T. P. M., Morra, E., & Kleijn, D. (2021). Pollination increases white and narrow-leaved lupin protein yields but not all crop visitors contribute to pollination. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 313, 107386. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107386

Garibaldi, L. A., Andersson, G. K. S., Requier, F., Fijen, T. P. M., Hipólito, J., Kleijn, D., Pérez-Méndez, N., & Rollin, O. (2018). Complementarity and synergisms among ecosystem services supporting crop yield. *Global Food Security*, 17, 38–47. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.03.006

Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Vaissiere, B. E., Gemmill-Herren, B., Hipolito, J., Freitas, B. M., Ngo, H. T., Azzu, N., Saez, A., Astrom, J., An, J., Blochtein, B., Buchori, D., Garcia, F. J. C., Oliveira da Silva, F., Devkota, K., Ribeiro, M. d. F., Freitas, L., Gaglianone, M. C., … Zhang, H. (2016). Mutually beneficial pollinator diversity and crop yield outcomes in small and large farms. *Science,* 351(6271), 388–391. https://doi.org/10.1126/science.aac7287

Garibaldi, L. A., Sáez, A., Aizen, M. A., Fijen, T., & Bartomeus, I. (2020). Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, 57(4), 664–670. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13574

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812–818. https://doi.org/10.1126/science.1185383

Goulson, D., & Sparrow, K. R. (2009). Evidence for competition between honeybees and bumblebees; effects on bumblebee worker size. *Journal of Insect Conservation*, 13(2), 177–181. https://doi.org/10.1007/s10841-008-9140-y

Gresta, F., Wink, M., Prins, U., Abberton, M., Capraro, J., Scarafoni, A., & Hill, G. (2017). Lupins in European cropping systems. In D. Murphy-Bokern, F. L. Stoddard, & C. A. Watson (Eds.), Legumes in cropping systems (1st ed., pp. 88–108). CABI. https://doi.org/10.1079/9781780644981.0088

Gulisano, A., Alves, S., Martins, J. N., & Trindade, L. M. (2019). Genetics and Breeding of Lupinus mutabilis: An Emerging Protein Crop. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1385. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01385

Gurr, G. M., Wratten, S. D., & Luna, J. M. (2003). Multi-function agricultural biodiversity: Pest management and other benefits. *Basic and Applied Ecology*, 4(2), 107–116. https://doi.org/10.1078/1439-1791-00122

Hall, D. M., & Martins, D. J. (2020). Human dimensions of insect pollinator conservation. Current *Opinion in Insect Science*, 38, 107–114. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.04.001

International Fund for Agricultural Development (IFAD). (2013). Small holders, food security and the environment (United Nations Environment Programme 8271; p. 52). IFAD. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8127

Intriago, R., & Amézcua, R. G. (2016). AGROECOLOGÍA EN EL ECUADOR. PROCESO HISTÓRICO, LOGROS Y DESAFÍOS. *Agroecología*, 11(2), Article 2.

Jones, S. K., Bergamini, N., Beggi, F., Lesueur, D., Vinceti, B., Bailey, A., DeClerck, F. A., Estrada-Carmona, N., Fadda, C., Hainzelin, E. M., Hunter, D., Kettle, C., Kihara, J., Jika, A. K. N., Pulleman, M., Remans, R., Termote, C., Fremout, T., Thomas, E., … Quintero, M. (2022). Research strategies to catalyze agroecological transitions in low- and middle-income countries. *Sustainability Science,* 17(6), 2557–2577. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01163-6

Kalisz, S., Vogler, D. W., & Hanley, K. M. (2004). Context-dependent autonomous self-fertilization yields reproductive assurance and mixed mating. *Nature,* 430(7002), 884–887. https://doi.org/10.1038/nature02776

Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E., & Tscharntke, T. (2014). Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. Proceedings of the Royal Society B: *Biological Sciences*, 281(1775), 20132440. https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2440

Klein, A.-M., Vaissière, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. Proceedings of the Royal Society B: *Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721

Kobayashi, S., Gale, S. W., Denda, T., & Izawa, M. (2019). Civet pollination in Mucuna birdwoodiana (Fabaceae: Papilionoideae). *Plant Ecology*, 220(4–5), 457–466. https://doi.org/10.1007/s11258-019-00927-y

Krauss, J., Gallenberger, I., & Steffan-Dewenter, I. (2011). Decreased Functional Diversity and Biological Pest Control in Conventional Compared to Organic Crop Fields. *PLoS ONE*, 6(5), e19502. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019502

Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society*, 17(4). https://www.jstor.org/stable/26269237

Lacoste, M., Cook, S., McNee, M., Gale, D., Ingram, J., Bellon-Maurel, V., MacMillan, T., Sylvester-Bradley, R., Kindred, D., Bramley, R., Tremblay, N., Longchamps, L., Thompson, L., Ruiz, J., García, F. O., Maxwell, B., Griffin, T., Oberthür, T., Huyghe, C., … Hall, A. (2021). On-Farm Experimentation to transform global agriculture. *Nature Food*, 3(1), 11–18. https://doi.org/10.1038/s43016-021-00424-4

Lebuhn, G., Droege, S., Connor, E. F., Gemmill-Herren, B., Potts, S. G., Minckley, R. L., Griswold, T., Jean, R., Kula, E., Roubik, D. W., Cane, J., Wright, K. W., Frankie, G., & Parker, F. (2013). Detecting Insect Pollinator Declines on Regional and Global Scales. *Conservation Biology*, 27(1), 113–120. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01962.x

Leclercq, N., Marshall, L., Weekers, T., Anselmo, A., Benda, D., Bevk, D., Bogusch, P., Cejas, D., Drepper, B., & Galloni, M. (2022). A comparative analysis of crop pollinator survey methods along a large-scale climatic gradient. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 329, 107871.

Lonsdorf, E. V., Koh, I., & Ricketts, T. (2020). Partitioning private and external benefits of crop pollination services. *People and Nature*, 2(3), 811–820. https://doi.org/10.1002/pan3.10138

Lucas, M. M., Stoddard, F. L., Annicchiarico, P., Frías, J., Martínez-Villaluenga, C., Sussmann, D., Duranti, M., Seger, A., Zander, P. M., & Pueyo, J. J. (2015). The future of lupin as a protein crop in Europe. *Frontiers in Plant Science*, 6. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00705

Lundin, O., & Raderschall, C. A. (2021). Landscape complexity benefits bumble bee visitation in faba bean (Vicia faba minor L.) but crop productivity is not pollinator-dependent. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 314, 107417. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107417

Lundin, O., Rundlöf, M., Jonsson, M., Bommarco, R., & Williams, N. M. (2021). Integrated pest and pollinator management – expanding the concept. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19(5), 283–291. https://doi.org/10.1002/fee.2325

Martin, E. A., Feit, B., Requier, F., Friberg, H., & Jonsson, M. (2019). Chapter Three—Assessing the resilience of biodiversity-driven functions in agroecosystems under environmental change. In D. A. Bohan & A. J. Dumbrell (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 60, pp. 59–123). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2019.02.003

Martínez Flores, L. A., Ruivenkamp, G., & Jongerden, J. (2016). Fitomejoramiento y racionalidad social: Los efectos no intencionales de la liberación de una semilla de lupino (Lupinus mutabilis Sweet) en Ecuador. Antípoda. *Revista de Antropología y Arqueología*, 26, antipoda26.2016.03. https://doi.org/10.7440/antipoda26.2016.03

Martínez-Flores, A., Ruivenkamp, G., & Jongerden, J. (2017). The Journey of an Ancestral Seed: The Case of the Lupino Paisano Food Network in Cotopaxi, Ecuador. *Culture, Agriculture, Food and Environment*, 39(1), 4–14. https://doi.org/10.1111/cuag.12083

Maurer, C., Martínez-Núñez, C., Dominik, C., Heuschele, J., Liu, Y., Neumann, P., Paxton, R. J., Pellissier, L., Proesmans, W., Schweiger, O., Szentgyörgyi, H., Vanbergen, A., & Albrecht, M. (2024). Landscape simplification leads to loss of plant–pollinator interaction diversity and flower visitation frequency despite buffering by abundant generalist pollinators. *Diversity and Distributions*, e13853. https://doi.org/10.1111/ddi.13853

McCabe, L. M., & Cobb, N. S. (2021). From bees to flies: Global shift in pollinator communities along elevation gradients. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 626124.

McCravy, K. W. (2018). A review of sampling and monitoring methods for beneficial arthropods in agroecosystems. *Insects*, 9(4). https://doi.org/10.3390/insects9040170

Melathopoulos, A. P., Cutler, G. C., & Tyedmers, P. (2015). Where is the value in valuing pollination ecosystem services to agriculture? *Ecological Economics*, 109, 59–70. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.11.007

Meyer, B., Jauker, F., & Steffan-Dewenter, I. (2009). Contrasting resource-dependent responses of hoverfly richness and density to landscape structure. *Basic and Applied Ecology*, 10(2), 178–186. https://doi.org/10.1016/j.baae.2008.01.001

Mina, D., Dangles, O., Campo, P., Rivera, M., & López, G. (2020). Investigación participativa para desarrollar y aplicar estrategias de manejo integrado de plagas: Experiencia en cultivo de chocho, Ecuador. LEISA *Revista de Agroecología*, 36(2). https://leisa-al.info/index.php/journal/article/view/68

Mina, D., Struelens, Q., Carpio, C., Rivera, M., Rebai, N., Rebaudo, F., & Dangles, O. (2017). Lupin Pest Management in the Ecuadorian Andes: Current Knowledge and Perspectives. *Outlooks on Pest Management*, 28(6), 250–256. https://doi.org/10.1564/v28_dec_05

Misiune, I., Depellegrin, D., & Egarter Vigl, L. (Eds.). (2022). Human-Nature Interactions: Exploring Nature's Values Across Landscapes. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-01980-7

Montoya, D., Gaba, S., de Mazancourt, C., Bretagnolle, V., & Loreau, M. (2020). Reconciling biodiversity conservation, food production and farmers' demand in agricultural landscapes. *Ecological Modelling*, 416, 108889. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108889

Mutenje, M. J., Farnworth, C. R., Stirling, C., Thierfelder, C., Mupangwa, W., & Nyagumbo, I. (2019). A cost-benefit analysis of climate-smart agriculture options in Southern Africa: Balancing gender and technology. *Ecological Economics*, 163, 126–137. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.05.013

Navarrete, I., Andrade-Piedra, J. L., López, V., Yue, X., Herrera, J., Barzallo, M., Quimbiulco, K., Almekinders, C. J. M., & Struik, P. C. (2023). Farmers Experiencing Potato Seed Degeneration Respond but Do Not Adjust Their Seed Replacement Strategies in Ecuador. *American Journal of Potato Research*, 100(1), 39–51. https://doi.org/10.1007/s12230-022-09893-0

Ne'eman, G., Jürgens, A., Newstrom-Lloyd, L., Potts, S. G., & Dafni, A. (2009). A framework for comparing pollinator performance: Effectiveness and efficiency. *Biological Reviews*, no-no. https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00108.x

Neves-Martins, J. M., Talhinhas, P., & Sousa, R. B. de. (2016). Yield and seed chemical composition of Lupinus mutabilis in Portugal. *Revista de Ciências Agrárias*, 39(4), Article 4. https://doi.org/10.19084/RCA16079

Nicholson, C. C., Koh, I., Richardson, L. L., Beauchemin, A., & Ricketts, T. H. (2017). Farm and landscape factors interact to affect the supply of pollination services. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 250, 113–122. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.030

O'Connor, R. S., Kunin, W. E., Garratt, M. P. D., Potts, S. G., Roy, H. E., Andrews, C., Jones, C. M., Peyton, J. M., Savage, J., Harvey, M. C., Morris, R. K. A., Roberts, S. P. M., Wright, I., Vanbergen, A. J., & Carvell, C. (2019). Monitoring insect pollinators and flower visitation: The effectiveness and feasibility of different survey methods. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(12), 2129–2140. https://doi.org/10.1111/2041-210X.13292

Ochoa-Zavala, M., Suárez-Montes, P., Chávez-Pesqueira, M., López-Cobos, D. E., Figueredo, C. J., David, A., Raquel, H., Lazo, Y., Sibille, S., Villanueva, R., Aviles, W., Cárdenas, J., Corrales, M., Montesinos, L., Quispe, R., Torres, I., & Casas, A. (2016). Diferencias en morfología y visitantes florales entre Lupinus mutabilis y Lupinus aff. Ballianus en la microcuenca de Warmiragra, Perú. UNAM-UNALM.

Outhwaite, C. L., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature,* 605(7908), 97–102. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x

Pecenka, J. R., Ingwell, L. L., Krupke, C. H., & Kaplan, I. (2023). Implementing IPM in crop management simultaneously improves the health of managed bees and enhances the diversity of wild pollinator communities. *Scientific Reports*, 13(1), 11033. https://doi.org/10.1038/s41598-023-38053-5

Pereponova, A., Grahmann, K., Lischeid, G., Bellingrath-Kimura, S. D., & Ewert, F. A. (2023). Sustainable transformation of agriculture requires landscape experiments. *Heliyon*, 9(11), e21215. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21215

Pino Andrade, M. (2017). Los Sistemas Participativos de Garantía en el Ecuador. Aproximaciones a su desarrollo. Letras Verdes, *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 22, 120–145. https://doi.org/10.17141/letrasverdes.22.2017.2679

Porto, R. G., de Almeida, R. F., Neto, O. C., Tabarelli, M., Viana, B. F., Peres, C. A., & Lopes, A. V. (2020). Pollination ecosystem services: A comprehensive review of economic values, research funding and policy actions. *Food Security* 12(6),1425–1442. Spriner. https://doi.org/10.1007/s12571-020-01043-w

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353. https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007

Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. Nature, 540(7632), 220–229. https://doi.org/10.1038/nature20588

Pretty, J. (2018). Intensification for redesigned and sustainable agricultural systems. *Science*, 362(6417), eaav0294. https://doi.org/10.1126/science.aav0294

Rader, R., Bartomeus, I., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Howlett, B. G., Winfree, R., Cunningham, S. A., Mayfield, M. M., Arthur, A. D., Andersson, G. K. S., Bommarco, R., Brittain, C., Carvalheiro, L. G., Chacoff, N. P., Entling, M. H., Foully, B., Freitas, B. M., Gemmill-Herren, B., Ghazoul, J., … Woyciechowski, M. (2016). Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 146–151. https://doi.org/10.1073/pnas.1517092112

Requier, F., Pérez-Méndez, N., Andersson, G. K. S., Blareau, E., Merle, I., & Garibaldi, L. A. (2023). Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(2), 196–205. https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.10.006

Rios, R. (1996). Tarwi (Lupinus mutabilis Sweet). Las Leguminosas En La Agricultura Boliviana. Meneses R, Waaijenberg H, and Pierola L.(Eds). Cochabamba–Bolivia. p, 209–225.

Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., DeClerck, F., Shah, M., Steduto, P., de Fraiture, C., Hatibu, N., Unver, O., Bird, J., Sibanda, L., & Smith, J. (2017). Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio,* 46(1), 4–17. https://doi.org/10.1007/s13280-016-0793-6

Sarkar, S., Gil, J. D. B., Keeley, J., Möhring, N., & Jansen, K. (2021). The use of pesticides in developing countries and their impact on health and the right to food. https://doi.org/10.2861/28995

Schreinemachers, P., & Tipraqsa, P. (2012). Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy*, 37(6), 616–626. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003

Senapathi, D., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Kleijn, D., Potts, S. G., & Carvalheiro, L. G. (2015). Pollinator conservation—The difference between managing for pollination services and preserving pollinator diversity. *Current Opinion in Insect Science*, 12, 93–101. https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.11.002

Sijtsma, F. J., Van Der Heide, C. M., & Van Hinsberg, A. (2013). Beyond monetary measurement: How to evaluate projects and policies using the ecosystem services framework. *Environmental Science & Policy,* 32, 14–25. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.06.016

Siopa, C., Castro, H., Loureiro, J., & Castro, S. (2023). PolLimCrop, a global dataset of pollen limitation in crops. *Scientific Data*, 10(1), 905. https://doi.org/10.1038/s41597-023-02797-6

Steward, P. R., Shackelford, G., Carvalheiro, L. G., Benton, T. G., Garibaldi, L. A., & Sait, S. M. (2014). Pollination and biological control research: Are we neglecting two billion smallholders. *Agriculture & Food Security*, 3(1), 5. https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-5

Struelens, Q. F., Rivera, M., Zabalaga, M. A., Ccanto, R., Tarqui, R. Q., Mina, D., Carpio, C., Mantilla, M. R. Y., Osorio, M., Roman, S., Muñoz, D., & Dangles, O. (2022). Pesticide misuse among small Andean farmers stems from pervasive misinformation by retailers. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(6), e0000017. https://doi.org/10.1371/journal.pstr.0000017

Struelens, Q., Mina, D., & Dangles, O. (2021). Combined effects of landscape composition and pesticide use on herbivore and pollinator functions in smallholder farms. *CABI Agriculture and Bioscience*, 2(1), 7. https://doi.org/10.1186/s43170-021-00027-w

Struelens, Q., Mina, D., & Dangles, O. (2024). Landscape's social and ecological services are equally valued by Andean farmers to decide where to grow a crop. *Mountain Research and Development*, in Press.

Tamburini, G., Bommarco, R., Kleijn, D., van der Putten, W. H., & Marini, L. (2019). Pollination contribution to crop yield is often context-dependent: A review of experimental evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 280, 16–23. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.022

Tittonell, P. A. (2013). Farming systems ecology: Towards ecological intensification of world agriculture. Wageningen Universiteit. https://research.wur.nl/en/publications/farming-systems-ecology-towards-ecological-intensification-of-wor

Vaissière, B. E., Freitas, B. M., & Gemmill-Herren, B. (2010). Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: A handbook for its use.

Vanbergen, A. J., Aizen, M. A., Cordeau, S., Garibaldi, L. A., Garratt, M. P. D., Kovács-Hostyánszki, A., Lecuyer, L., Ngo, H. T., Potts, S. G., Settele, J., Skrimizea, E., & Young, J. C. (2020). Chapter Six - Transformation of agricultural landscapes in the Anthropocene: Nature's contributions to people, agriculture and food security. In D. A. Bohan & A. J. Vanbergen (Eds.), *Advances in Ecological Research* (Vol. 63, pp. 193–253). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.08.002

Waterfield, G., & Zilberman, D. (2012). Pest Management in Food Systems: An Economic Perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 223–245. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-040911-105628

Williams, I. H. (1987). The Pollination of Lupins. Bee World, 68(1), 10–16. https://doi.org/10.1080/0005772X.1987.11098904

Wratten, S. D., Gillespie, M., Decourtye, A., Mader, E., & Desneux, N. (2012). Pollinator habitat enhancement: Benefits to other ecosystem services. *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 159, 112–122. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.020

Wyckhuys, K. A. G., & O'Neil, R. J. (2007). Local agro-ecological knowledge and its relationship to farmers' pest management decision making in rural Honduras. *Agriculture and Human Values*, 24(3), 307–321. https://doi.org/10.1007/s10460-007-9068-y

Références chapitre 6

Agüero, J. I., Rollin, O., Torretta, J. P., Aizen, M. A., Requier, F., & Garibaldi, L. A. (2018). Impactos de la abeja melífera sobre plantas y abejas silvestres en hábitats naturales. *Ecosistemas*, 27(2), 60–69. https://doi.org/10.7818/ECOS.1365

Albuquerque, U. P., Ludwig, D., Feitosa, I. S., De Moura, J. M. B., Gonçalves, P. H. S., Da Silva, R. H., Da Silva, T. C., Gonçalves-Souza, T., & Ferreira Júnior, W. S. (2021a). Integrating traditional ecological knowledge into academic research at local and global scales. *Regional Environmental Change,* 21(2), 45. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01774-2

Albuquerque, U. P., Ludwig, D., Feitosa, I. S., De Moura, J. M. B., Gonçalves, P. H. S., Da Silva, R. H., Da Silva, T. C., Gonçalves-Souza, T., & Ferreira Júnior, W. S. (2021b). Integrating traditional ecological knowledge into academic research at local and global scales. *Regional Environmental Change*, 21(2), 45. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01774-2

Altieri, M. A. (2004). Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(1), 35–42. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2

Altieri, M. A. (2008). Small farms as a planetary ecological asset: Five key reasons why we should support the revitalisation of small farms in the Global South. *Third World Network*.

Andrade-Rivas, F., Paul, N., Spiegel, J., Henderson, S. B., Parrott, L., Delgado-Ron, J. A., Echeverri, A., & van den Bosch, M. (2023). Mapping Potential Population-Level Pesticide Exposures in Ecuador Using a Modular and Scalable Geospatial Strategy. *GeoHealth*, 7(7), e2022GH000775. https://doi.org/10.1029/2022GH000775

Arias, M., Mappes, J., Desbois, C., Gordon, S., McClure, M., Elias, M., Nokelainen, O., & Gomez, D. (2019). Transparency reduces predator detection in mimetic clearwing butterflies. *Functional Ecology*, 33(6), 1110–1119. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13315

Arias-Arévalo, P., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., & Pérez-Rincón, M. (2018). Widening the Evaluative Space for Ecosystem Services: A Taxonomy of Plural Values and Valuation Methods. *Environmental Values,* 27(1), 29–53. https://doi.org/10.3197/096327118X15144698637513

Bartholomée, O., & Lavorel, S. (2019). Disentangling the diversity of definitions for the pollination ecosystem service and associated estimation methods. *Ecological Indicators*, 107, 105576. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105576

Barua, M., Gurdak, D. J., Ahmed, R. A., & Tamuly, J. (2012). Selecting flagships for invertebrate conservation. *Biodiversity and Conservation*, 21(6), 1457–1476. https://doi.org/10.1007/s10531-012-0257-7

Bauer, D. M., & Sue Wing, I. (2016). The macroeconomic cost of catastrophic pollinator declines. *Ecological Economics*, 126, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.01.011

Bennett, J. M., Steets, J. A., Burns, J. H., Burkle, L. A., Vamosi, J. C., Wolowski, M., Arceo-Gómez, G., Burd, M., Durka, W., Ellis, A. G., Freitas, L., Li, J., Rodger, J. G., Ştefan, V., Xia, J., Knight, T. M., & Ashman, T.-L. (2020). Land use and pollinator dependency drives global patterns of pollen limitation in the Anthropocene. Nature *Communications*, 11(1), 3999. https://doi.org/10.1038/s41467-020-17751-y

Bentley, J. W. (1989). What farmers don't know can't help them: The strengths and weaknesses of indigenous technical knowledge in Honduras. *Agriculture and Human Values*, 6(3), 25–31. https://doi.org/10.1007/BF02217666

Berkes, F., Folke, C., & Colding, J. (2000). Linking social and ecological systems: Management practices and social mechanisms for building resilience. Cambridge University Press. https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=XixuNvX2zLwC&oi=fnd&pg=PR9&dq=Berkes,+F.,+and+C.+Folke,+editors.+1998.+Linking+Social+and+Ecological+Systems:+Management+Practices+and+Social+Mechanisms+for+Building+Resilience.+Cambridge+University+Press,+Cambridge,+UK.&ots=kpOHbuGVfV&sig=AlgclHsJe4v2RC1gBM_40TwhXD0

Biddinger, D. J., & Rajotte, E. G. (2015). Integrated pest and pollinator management—Adding a new dimension to an accepted paradigm. *Current Opinion in Insect Science*, 10, 204–209. https://doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.012

Blacquière, T., Smagghe, G., Van Gestel, C. A. M., & Mommaerts, V. (2012). Neonicotinoids in bees: A review on concentrations, side-effects and risk assessment. *Ecotoxicology*, 21(4), 973–992. https://doi.org/10.1007/s10646-012-0863-x

Breeze, T. D., Gallai, N., Garibaldi, L. A., & Li, X. S. (2016). Economic Measures of Pollination Services: Shortcomings and Future Directions. *Trends in Ecology & Evolution*, 31(12), 927–939. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.09.002

Brown, J., & Cunningham, S. A. (2019). Global-scale drivers of crop visitor diversity and the historical development of agriculture. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 286(1915), 20192096. https://doi.org/10.1098/rspb.2019.2096

Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 7, 177. https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177

Busse, M., Zoll, F., Siebert, R., Bartels, A., Bokelmann, A., & Scharschmidt, P. (2021). How farmers think about insects: Perceptions of biodiversity, biodiversity loss and attitudes towards insect-friendly farming practices. *Biodiversity and Conservation*, 30(11), 3045–3066. https://doi.org/10.1007/s10531-021-02235-2

Cappellari, A., Ortis, G., Mei, M., Paniccia, D., Carrossa, E., Eccheli, C., Facchetti, S., Lorenzon, G., & Marini, L. (2023). Does pollinator conservation promote environmental co-benefits? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 356, 108615. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108615

Carson, R. (1962). Silent spring. In Thinking about the environment (pp. 150–155). Routledge. https://api.taylorfrancis.com/content/chapters/edit/download?identifierName=doi&identifierValue=10.4324/9781315698724-22&type=chapterpdf

Cash, D. W., Clark, W. C., Alcock, F., Dickson, N. M., Eckley, N., Guston, D. H., Jäger, J., & Mitchell, R. B. (2003). Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences,* 100(14), 8086–8091. https://doi.org/10.1073/pnas.1231332100

Christie, M., Martín-López, B., Church, A., Siwicka, E., Szymonczyk, P., & Mena Sauterel, J. (2019a). Understanding the diversity of values of "Nature's contributions to people": Insights from the IPBES Assessment of Europe and Central Asia. *Sustainability Science*, 14(5), 1267–1282. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00716-6

Christie, M., Martín-López, B., Church, A., Siwicka, E., Szymonczyk, P., & Mena Sauterel, J. (2019b). Understanding the diversity of values of "Nature's contributions to people": Insights from the IPBES Assessment of Europe and Central Asia. *Sustainability Science*, 14(5), 1267–1282. https://doi.org/10.1007/s11625-019-00716-6

Cooper, N., Brady, E., Steen, H., & Bryce, R. (2016). Aesthetic and spiritual values of ecosystems: Recognising the ontological and axiological plurality of cultural ecosystem 'services.' *Ecosystem Services,* 21, 218–229. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.014

Dangles, O., Carpio, F. C., Villares, M., Yumisaca, F., Liger, B., Rebaudo, F., & Silvain, J. F. (2010). Community-Based Participatory Research Helps Farmers and Scientists to Manage Invasive Pests in the Ecuadorian Andes. *AMBIO*, 39(4), 325–335. https://doi.org/10.1007/s13280-010-0041-4

Descola, P. (2015). Humain, trop humain. *Esprit,* Décembre(12), 8–22. https://doi.org/10.3917/espri.1512.0008

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J. R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I. A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K. M., Figueroa, V. E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., … Zlatanova, D. (2015). The IPBES Conceptual Framework—Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002

Egan, P. A., Dicks, L. V., Hokkanen, H. M. T., & Stenberg, J. A. (2020). Delivering Integrated Pest and Pollinator Management (IPPM). *Trends in Plant Science*, 25(6), 577–589. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.01.006

Elisante, F., Ndakidemi, P., Arnold, S. E. J., Belmain, S. R., Gurr, G. M., Darbyshire, I., Xie, G., & Stevenson, P. C. (2020). Insect pollination is important in a smallholder bean farming system. *PeerJ*, 8, e10102. https://doi.org/10.7717/peerj.10102

Faria, C., & Mollett, S. (2016). Critical feminist reflexivity and the politics of whiteness in the 'field.' *Gender, Place & Culture*, 23(1), 79–93. https://doi.org/10.1080/0966369X.2014.958065

Faure, J., Mouysset, L., & Gaba, S. (2023). Combining incentives with collective action to provide pollination and a bundle of ecosystem services in farmland. *Ecosystem Services*, 63, 101547. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101547

Faye, J. B. (2020). Indigenous farming transitions, sociocultural hybridity and sustainability in rural Senegal. NJAS: *Wageningen Journal of Life Sciences*, 92(1), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.njas.2020.100338

Garibaldi, L. A., Andersson, G. K. S., Requier, F., Fijen, T. P. M., Hipólito, J., Kleijn, D., Pérez-Méndez, N., & Rollin, O. (2018). Complementarity and synergisms among ecosystem services supporting crop yield*. Global Food Security*, 17, 38–47. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.03.006

Garibaldi, L. A., Dondo, M., Hipólito, J., Azzu, N., Viana, B. F., & Kasina, M. (2016). A quantitative approach to the socio-economic valuation of pollinator-friendly practices: A protocol for its use. *Food and Agriculture Organization of the United Nations.*

Garibaldi, L. A., Sáez, A., Aizen, M. A., Fijen, T., & Bartomeus, I. (2020). Crop pollination management needs flower-visitor monitoring and target values. *Journal of Applied Ecology*, 57(4), 664–670. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13574

Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tscharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L. W., Dennis, C., Palmer, C., Oñate, J. J., … Inchausti, P. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology*, 11(2), 97–105. https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001

Giraldo, O. F. (2018). Ecología política de la agricultura: Agroecología y posdesarrollo (Primera edición). ECOSUR.

Godfray, H. C. J., Blacquière, T., Field, L. M., Hails, R. S., Petrokofsky, G., Potts, S. G., Raine, N. E., Vanbergen, A. J., & McLean, A. R. (2014). A restatement of the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1786), 20140558. https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0558

Goulet, F., Aulagnier, A., & Fouilleux, E. (2023). Moving beyond pesticides: Exploring alternatives for a changing food system. *Environmental Science & Policy*, 147, 177–187. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.06.007

Goulson, D. (2020). Pesticides, Corporate Irresponsibility, and the Fate of Our Planet. *One Earth*, 2(4), 302–305. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.03.004

Hall, D. M., & Martins, D. J. (2020). Human dimensions of insect pollinator conservation. *Current Opinion in Insect Science*, 38, 107–114. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.04.001

Hanley, N., Breeze, T. D., Ellis, C., & Goulson, D. (2015). Measuring the economic value of pollination services: Principles, evidence and knowledge gaps. *Ecosystem Services*, 14, 124–132. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.09.013

Heinrich-Böll-Stiftung, & others. (2022). Pesticide Atlas. https://eu.boell.org/en/PesticideAtlas

Himes, A., Muraca, B., Anderson, C. B., Athayde, S., Beery, T., Cantú-Fernández, M., González-Jiménez, D., Gould, R. K., Hejnowicz, A. P., Kenter, J., Lenzi, D., Murali, R., Pascual, U., Raymond, C., Ring, A., Russo, K., Samakov, A., Stålhammar, S., Thorén, H., & Zent, E. (2024). Why nature matters: A systematic review of intrinsic, instrumental, and relational values. *BioScience*, 74(1), 25–43. https://doi.org/10.1093/biosci/biad109

Hoelle, J., Gould, R. K., & Tauro, A. (2023). Beyond 'desirable' values: Expanding relational values research to reflect the diversity of human–nature relationships. *People and Nature*, 5(6), 1774–1785. https://doi.org/10.1002/pan3.10316

Hogue, J. N. (2009). Chapter 101—Folk Beliefs and Superstitions. In V. H. Resh & R. T. Cardé (Eds.), Encyclopedia of Insects (Second Edition) (pp. 372–376). *Academic Press*. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00110-7

Howlett, B. G., Todd, J. H., Willcox, B. K., Rader, R., Nelson, W. R., Gee, M., Schmidlin, F. G., Read, S. F. J., Walker, M. K., Gibson, D., & Davidson, M. M. (2021). Using non-bee and bee pollinator-plant species interactions to design

diverse plantings benefiting crop pollination services. *In Advances in Ecological Research* (Vol. 64, pp. 45–103). Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2020.11.002

IPBES. (2016). The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. (S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (Eds), p. 552). *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.*

Irvine, K. N., O'Brien, L., Ravenscroft, N., Cooper, N., Everard, M., Fazey, I., Reed, M. S., & Kenter, J. O. (2016). Ecosystem services and the idea of shared values. *Ecosystem Services*, 21, 184–193. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.001

Iwasaki, J. M., & Hogendoorn, K. (2022). Mounting evidence that managed and introduced bees have negative impacts on wild bees: An updated review. *Current Research in Insect Science*, 2, 100043. https://doi.org/10.1016/j.cris.2022.100043

Jacobs, S., Dendoncker, N., Martín-López, B., Barton, D. N., Gomez-Baggethun, E., Boeraeve, F., McGrath, F. L., Vierikko, K., Geneletti, D., Sevecke, K. J., Pipart, N., Primmer, E., Mederly, P., Schmidt, S., Aragão, A., Baral, H., Bark, R. H., Briceno, T., Brogna, D., … Washbourne, C.-L. (2016). A new valuation school: Integrating diverse values of nature in resource and land use decisions. Ecosystem Services, 22, 213–220. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.007

Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I., Carvalheiro, L. G., Henry, M., Isaacs, R., Klein, A.-M., Kremen, C., M'Gonigle, L. K., Rader, R., Ricketts, T. H., Williams, N. M., Lee Adamson, N., Ascher, J. S., Báldi, A., Batáry, P., Benjamin, F., Biesmeijer, J. C., Blitzer, E. J., … Potts, S. G. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications*, 6(1), 7414. https://doi.org/10.1038/ncomms8414

Klein A-M, Vaissière BE, Cane JH, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kremen C, Tscharntke T (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274, 303–313.

Kroeger, T., & Casey, F. (2007). An assessment of market-based approaches to providing ecosystem services on agricultural lands. *Ecological Economics*, 64(2), 321–332. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.021

Kumar, P. (2012). The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations. Routledge. https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identifierName=doi&identifierValue=10.4324/9781849775489&type=googlepdf

Leandro, C., & Jay-Robert, P. (2019). Perceptions and representations of animal diversity: Where did the insects go? *Biological Conservation*, 237, 400–408. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.07.031

Lemelin, R. H. (2013). To bee or not to bee: Whether 'tis nobler to revere or to revile those six-legged creatures during one's leisure. *Leisure Studies*, 32(2), 153–171. https://doi.org/10.1080/02614367.2011.626064

Liebig, T., Jassogne, L., Rahn, E., Läderach, P., Poehling, H.-M., Kucel, P., Van Asten, P., & Avelino, J. (2016). Towards a collaborative research: A case study on linking science to farmers' perceptions and knowledge on Arabica coffee pests and diseases and its management. *PloS One*, 11(8), e0159392.

Lockwood, J. A. (1987). The Moral Standing of Insects and the Ethics of Extinction. *The Florida Entomologist,* 70(1), 70. https://doi.org/10.2307/3495093

Lockwood, J. A. (1988). Not to Harm a Fly: Our Ethical Obligations to Insects. Between the Species: *An Online Journal for the Study of Philosophy and Animals,* 4(3). https://doi.org/10.15368/bts.1988v4n3.10

Lundin, O., Rundlof, M., Smith, H. G., Fries, I., & Bommarco, R. (2015). Neonicotinoid Insecticides and Their Impacts on Bees: A Systematic Review of Research Approaches and Identification of Knowledge Gaps. *Plos one* 10(8). PUBLIC LIBRARY SCIENCE. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136928

Lwoga, E. T., Ngulube, P., & Stilwell, C. (2010). Managing indigenous knowledge for sustainable agricultural development in developing countries: Knowledge management approaches in the social context. *International Information & Library Review*, 42(3), 174–185.

Maderson, S., & Elsner-Adams, E. (2024). Beekeeping, stewardship and multispecies care in rural contexts. *Sociologia Ruralis*, 64(2), 202–221. https://doi.org/10.1111/soru.12457

Manesi, Z., Lange, P. A. M. V., & Pollet, T. V. (2015). Butterfly Eyespots: Their Potential Influence on Aesthetic Preferences and Conservation Attitudes. *PLOS ONE*, 10(11), e0141433.

Maris, V. (2014). Nature à vendre: Les limites des services écosystémiques.

Maris, V., Devictor, V., Doussan, I., & Béchet, A. (2016). Les valeurs en question: In Valeurs de la biodiversité et services écosystémiques (pp. 21–38). Éditions Quæ. https://doi.org/10.3917/quae.roche.2016.01.0021

Martin, A., Gomez-Baggethun, E., Quaas, M., Rozzi, R., Tauro, A., Faith, D. P., Kumar, R., O'Farrell, P., & Pascual, U. (2024). Plural values of nature help to understand contested pathways to sustainability. *One Earth, 7*(5), 806–819. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.04.003

Martin-Clouaire, R. (2018). Ontological Foundation of Ecosystem Services and the Human Dimension of Agroecosystems. *Agricultural Sciences*, 9, 525–545. https://doi.org/10.4236/as.2018.95036

McCabe, L. M., & Cobb, N. S. (2021). From bees to flies: Global shift in pollinator communities along elevation gradients. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 626124.

McCracken, M. E., Woodcock, B. A., Lobley, M., Pywell, R. F., Saratsi, E., Swetnam, R. D., Mortimer, S. R., Harris, S. J., Winter, M., Hinsley, S., & Bullock, J. M. (2015). Social and ecological drivers of success in agri-environment schemes: The roles of farmers and environmental context. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 696–705. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12412

Melathopoulos, A. P., Cutler, G. C., & Tyedmers, P. (2015). Where is the value in valuing pollination ecosystem services to agriculture? *Ecological Economics*, 109, 59–70. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.11.007

Meza, L. (2014). La agricultura familiar y el cambio climático. La Agricultura Familiar En América Latina y El Caribe: Recomendaciones de Política, 79–100.

Morales, H., & Perfecto, I. (2000). Traditional knowledge and pest management in the Guatemalan highlands. *Agriculture and Human Values*, 17, 49–63.

Morris, B. (2004). Insects and human life (1st ed). Berg.

Mouysset, L. (2023). On diversity of human-nature relationships in environmental sciences and its implications for the management of ecological crisis. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 45(2), 20.

Mugnier, R. (2023). Le travail interespèces de pollinisation dans les écologies perturbées: Apiculteurs, abeilles et agriculture en vallée du Rhône. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 17(1).

Ne'eman, G., Jürgens, A., Newstrom-Lloyd, L., Potts, S. G., & Dafni, A. (2010). A framework for comparing pollinator performance: Effectiveness and efficiency. *Biological Reviews*, 85(3), 435–451.

Nielsen, A., Reitan, T., Rinvoll, A. W., & Brysting, A. K. (2017). Effects of competition and climate on a crop pollinator community. Agriculture, *Ecosystems & Environment*, 246, 253–260.

Osterman, J., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Bosch, J., Howlett, B. G., Inouye, D. W., Jung, C., Martins, D. J., Medel, R., Pauw, A., Seymour, C. L., & Paxton, R. J. (2021). Global trends in the number and diversity of managed pollinator species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107653.

Outhwaite, C. L., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature,* 605(7908), 97–102. https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x

Pacheco Huaiquifil, C. (2022). Pensando la relación humano-naturaleza en el contexto de realidades ecocidas y coloniales, desde un enfoque intercultural/decolonial desarrollado en Abya Yala y Wallmapu. Entretextos: *Revista de Estudios Interculturales desde Latinoamérica y el Caribe*, 16(30), 106–117.

Pascual, U., Balvanera, P., Anderson, C. B., Chaplin-Kramer, R., Christie, M., González-Jiménez, D., Martin, A., Raymond, C. M., Termansen, M., Vatn, A., Athayde, S., Baptiste, B., Barton, D. N., Jacobs, S., Kelemen, E., Kumar, R., Lazos, E., Mwampamba, T. H., Nakangu, B., … Zent, E. (2023). Diverse values of nature for sustainability. *Nature*, 620(7975), 813–823. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06406-9

Pascual, U., Balvanera, P., & Christie, M. (2023). Editorial overview: Leveraging the multiple values of nature for transformative change to just and sustainable futures — Insights from the IPBES Values Assessment. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 64, 101359.

Pascual, U., Balvanera, P., Díaz, S., Pataki, G., Roth, E., Stenseke, M., Watson, R. T., Başak Dessane, E., Islar, M., Kelemen, E., Maris, V., Quaas, M., Subramanian, S. M., Wittmer, H., Adlan, A., Ahn, S., Al-Hafedh, Y. S., Amankwah, E., Asah, S. T., … Yagi, N. (2017). Valuing nature's contributions to people: The IPBES approach. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 26–27, 7–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.12.006

Pereponova, A., Grahmann, K., Lischeid, G., Bellingrath-Kimura, S. D., & Ewert, F. A. (2023). Sustainable transformation of agriculture requires landscape experiments. Heliyon, 9(11), e21215.

Piccolo, J. J., Taylor, B., Washington, H., Kopnina, H., Gray, J., Alberro, H., & Orlikowska, E. (2022). "Nature's contributions to people" and peoples' moral obligations to nature. *Biological Conservation*, 270, 109572. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109572

Pimbert, M. P. (2017). Food Sovereignty, Agroecology And Biocultural Diversity: Constructing and Contesting Knowledge (Michel. P. Pimbert, Ed.; 1st ed.). *Routledge*. https://doi.org/10.4324/9781315666396

Pino Andrade, M. (2017). Los Sistemas Participativos de Garantía en el Ecuador. Aproximaciones a su desarrollo. Letras Verdes, *Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 22, 120–145.

Pirk, C. W. W., Crewe, R. M., & Moritz, R. F. A. (2017). Risks and benefits of the biological interface between managed and wild bee pollinators. *Functional Ecology*, 31(1), 47–55. https://doi.org/10.1111/1365-2435.12768

Pramova, E., Locatelli, B., Valdivia-Díaz, M., Vallet, A., Quispe Conde, Y., Djoudi, H., Colloff, M. J., Bousquet, F., Tassin, J., & Munera Roldan, C. (2022). Sensing, feeling, thinking: Relating to nature with the body, heart and mind. *People and Nature*, 4(2), 351–364. https://doi.org/10.1002/pan3.10286

Puleo, A. (2011). Ecofeminism, deep feminist awareness of the socio-environmental crisis. https://www.fundacioncarolina.es/wp-content/uploads/2024/03/book_care-ecofeminism-2024.pdf#page=2

Requier, F., Pérez-Méndez, N., Andersson, G. K. S., Blareau, E., Merle, I., & Garibaldi, L. A. (2023). Bee and non-bee pollinator importance for local food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 38(2), 196–205.

Reyes-García, V., Aceituno-Mata, L., Calvet-Mir, L., Garnatje, T., Gómez-Baggethun, E., Lastra, J. J., Ontillera, R., Parada, M., Rigat, M., Vallès, J., Vila, S., & Pardo-de-Santayana, M. (2014). Resilience of traditional knowledge systems: The case of agricultural knowledge in home gardens of the Iberian Peninsula. *Global Environmental Change,* 24, 223–231. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.022

Sagwe, R. N., Peters, M. K., Dubois, T., Steffan-Dewenter, I., & Lattorff, H. M. G. (2021). Pollinator supplementation mitigates pollination deficits in smallholder avocado (Persea americana Mill.) production systems in Kenya. *Basic and Applied Ecology*, 56, 392–400. https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.08.013

Sarkar, S., Gil, J. D. B., Keeley, J., Möhring, N., & Jansen, K. (2021). The use of pesticides in developing countries and their impact on health and the right to food. https://doi.org/10.2861/28995

Scherr, S. J., & McNeely, J. A. (2007). Biodiversity conservation and agricultural sustainability: Towards a new paradigm of 'ecoagriculture' landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 477–494. https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2165

Shapiro-Garza, E., King, D., Rivera-Aguirre, A., Wang, S., & Finley-Lezcano, J. (2020). A participatory framework for feasibility assessments of climate change resilience strategies for smallholders: Lessons from coffee cooperatives in Latin America. *International Journal of Agricultural Sustainability, 18(1),* 21–34.

Siopa, C., Carvalheiro, L. G., Castro, H., Loureiro, J., & Castro, S. (2024). Animal-pollinated crops and cultivars—A quantitative assessment of pollinator dependence values and evaluation of methodological approaches. *Journal of Applied Ecology*, *61*(6), 1279-1288.

Stanley, D. A., Garratt, M. P. D., Wickens, J. B., Wickens, V. J., Potts, S. G., & Raine, N. E. (2015). Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. *Nature,* 528(7583), 548–550.

Steward, P. R., Shackelford, G., Carvalheiro, L. G., Benton, T. G., Garibaldi, L. A., & Sait, S. M. (2014). Pollination and biological control research: Are we neglecting two billion smallholders. *Agriculture & Food Security*, 3(1), 5.

Struelens, Q., Rivera, M., Zabalaga, M. A., Ccanto, R., Tarqui, R. Q., Mina, D., Carpio, C., Mantilla, M. R. Y., Osorio, M., Roman, S., Muñoz, D., & Dangles, O. (2022). Pesticide misuse among small Andean farmers stems from pervasive misinformation by retailers. *PLOS Sustainability and Transformation*, 1(6), e0000017.

Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmqvist, T., Malmer, P., & Spierenburg, M. (2014). Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Base Approach. *AMBIO*, 43(5), 579–591. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0501-3

Tittonell, P. (2020). Assessing resilience and adaptability in agroecological transitions. *Agricultural Systems*, 184, 102862. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102862

Tittonell, P., & Giller, K. E. (2013). When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research*, 143, 76–90. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.10.007

Toivonen, M., Karimaa, A.-E., Herzon, I., & Kuussaari, M. (2022). Flies are important pollinators of mass-flowering caraway and respond to landscape and floral factors differently from honeybees. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 323, 107698. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107698

Trisos, C. H., Auerbach, J., & Katti, M. (2021). Decoloniality and anti-oppressive practices for a more ethical ecology. *Nature Ecology & Evolution*, 5(9), 1205–1212. https://doi.org/10.1038/s41559-021-01460-w

Uwingabire, Z. (2021). Evaluating the impacts of pollinators decline on social welfare at different spatial scales: Economic and nutritional aspects [PhD Thesis, Université Toulouse le Mirail-Toulouse II]. https://theses.hal.science/tel-04091018/

Vaissière, B. E., Freitas, B. M., & Gemmill-Herren, B. (2010). Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: A handbook for its use.

Venjakob, C., Klein, A.-M., Ebeling, A., Tscharntke, T., & Scherber, C. (2016). Plant diversity increases spatio-temporal niche complementarity in plant-pollinator interactions. *Ecology and Evolution*, 6(8), 2249–2261.

Weiskopf, D. A. (2020). Representing and coordinating ethnobiological knowledge. Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical *Sciences*, 84, 101328. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2020.101328

Winfree, R., Gross, B. J., & Kremen, C. (2011). Valuing pollination services to agriculture. Ecological Economics, 71, 80–88. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.001

Wyckhuys, K. A. G., Heong, K. L., Sanchez-Bayo, F., Bianchi, F. J. J. A., Lundgren, J. G., & Bentley, J. W. (2019). Ecological illiteracy can deepen farmers' pesticide dependency. *Environmental Research Letters*, 14(9), 093004.