Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF)

Yield, productivity and technical gaps that limit the cotton agricultural production system in the Colombian Caribbean

Dissertation

zur Erlangung des Grades
Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. Agr.)

der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

von
Oscar Burbano-Figueroa
aus
Pasto (Nariño), Colombia
Bonn 2022

Abstract

This thesis contributes to understanding factors related to production situations in agricultural systems of the Colombian Caribbean using decision analysis. Decision analysis has numerous advantages when it is used for this purpose. It is a multidisciplinary framework which helps decision-makers or stakeholders evaluate competing alternative actions or interventions in order to choose the preferable option. Decision analysis is a bottom-up approach that collects knowledge developed by stakeholders (including farmers) and combines it with available field data and disciplinary expertise. This approach allows the inclusion of all variables that are essential for the contextual description of the problem, even if these variables are difficult to measure. Risks and uncertainties are also included in decision analysis reflecting better the reality of agricultural production situations. As a final remark, decision analysis is focused on active assessment of alternatives for improving system performance with the explicit intention to take action and assess consequences and not just studying how a system works.

The first part of this study describes the application of conceptual modeling on the understanding of the management of the cotton boll weevil (*Anthonomus grandis grandis*). The boll weevil is the main pest in the cotton-producing regions throughout the Americas from Southern Texas to Argentina. To date, information on boll weevil (BW) management strategies in Colombia is only available in the forms of gray literature (technical reports) and informal knowledge held by crop advisors and farmers. The conceptual model developed in this study collected that information and integrated the informal local knowledge of crop advisors and farmers with disciplinary knowledge describing management strategies. The conceptual model was conceived in a strategic planning framework for accommodating temporal-spatial scales of decision making: 1) farm (field) scale management during the cotton season and 2) a regional BW suppression strategy mainly aimed at controlling the insect populations that survived the inter-cotton season. This conceptual model provides guidelines for future research, and it can serve as a baseline for the development of quantitative models and simulations describing the decision-making process related to the management of BW in the Colombian Caribbean.

The second part of this study deepens in the understanding of the boll weevil management and applies decision analysis to assess pesticide-based strategies used at farm scale. Proactive and reactive management at farm-scale were represented as probabilistic production functions using budget partial analysis. This decision model layout was able to capture key properties of control strategies, while accounting for uncertainty about pest infestation pressure, control effectiveness and cotton yield and price. Simulation outcomes indicate that a proactive management for the BW is more efficient than a reactive approach given the current weevil infestation levels. However, farmers prefer the reactive strategy, since they have experienced seasons with low infestation pressure where no insecticide applications were required. In low infestation scenarios the proactive strategy, that requires scheduled pesticide applications in all seasons, is seen as wasteful. In seasons with high infestation pressure the expected revenues of the reactive strategy tend to decrease, mainly because more spray applications are required when fields are heavily infested by the weevil. While economic injury levels can only be applied to responsive measures, our approach of partial budget analysis under uncertainty allows us to assess and compare both responsive and preventive measures in the

same methodological framework. This framework can be extended to other non-pesticide control measures.

The fourth part of this study focuses on the assessment of economic prospects of irrigated horticultural systems. These production systems are an alternative to cotton crops for smallholders. Understanding these diversified systems require quantification of productivity and related risks for individual crops as well as an assessment of the benefits from diversification. A whole-farm decision analysis of this kind is an extension of Modern Portfolio Theory (MPT) that allows us to link the concepts of risks and returns for a multi-asset scenario (several crops or farm enterprises). Understanding this relationship is essential for identifying diversification strategies that farmers can validate and adjust to technical or economical limitations or individual preferences. This decision analysis approach can be useful in assessing other horticultural systems and for the assessment and identification of new crop options to be incorporated in diversified systems. This decision analysis can also be used to represent diversification in other whole-farm planning scenarios, e.g. when it comes to rotations of field crops, integrated livestock farms, cut-flower farming or agroforestry systems.

This study's results show the versatility of decision analysis for its application to different typologies of decision-making problems in agriculture. It provides a conceptual modeling approach that incorporates planning horizons for the decision making problems. Conceptual models outlining strategic decision-making scenarios facilitates the process of quantitative modeling because it helps to define the decision making-problem to model while offering a model reference framework. This thesis provides layouts for two of those strategic-making scenarios that are not commonly represented in the literature of applications for decision analysis but are very common in agricultural settings: production under risk and whole-farm planning and operation. Production under risk was used for modeling pest management as a special production function describing losses. This framework has the potential to provide a unified protocol for assessing benefits in pest management, specially in those cases of integrated pest management. Whole farm-planning and operation was conceived as an extension of the Modern Portfolio Theory. This thesis provides a complete protocol of decision analysis describing its application in diversified systems.

Zusammenfassung

Landwirte treffen ihre Entscheidungen im Rahmen physikalischer, biologischer, technischer, sozialer und wirtschaftlicher Bedingungen. Diese lokale Umgebung, in der ihre Nutzpflanzen angebaut, gepflegt, geerntet und gehandelt werden, wird als "Produktionssituation" bezeichnet. In einer Umgebung ausgezeichnet durch optimale Versorgung mit Wasser und Nährstoffen und ohne Ertragsverluste durch Schädlinge, Krankheiten und Unkräuter können die Pflanzen den maximalen Ertrag, d. h. den potenziellen Ertrag, erreichen. Die vorherrschenden landwirtschaftlichen Produktionssituationen sind jedoch weit vom Optimum entfernt. Im Allgemeinen wachsen Nutzpflanzen in lokalen Umgebungen, die für ihre Bedürfnisse suboptimal sind. Der Ernteertrag, der unter diesen landwirtschaftlichen Bedingungen erzielt wird, wird als tatsächlicher Ertrag einer Kulturpflanze bezeichnet. Die Differenz zwischen dem potenziellen Ertrag, der in einer perfekten Umgebung erzielt wird, und dem tatsächlichen Ertrag wird als Ertragslücke bezeichnet. Das Konzept der Ertragslücke wird häufig bei der Entwicklung und Bewertung von Modellen und Maßnahmen in tropischen landwirtschaftlichen Systemen verwendet.

Diese Arbeit trägt zum Verständnis von Produktionssituationen und Ertragslücken in landwirtschaftlichen Systemen der kolumbianischen Karibik unter Verwendung der Entscheidungsanalyse bei. Die Entscheidungsanalyse hat hinsichtlich dieses Zweckes zahlreiche Vorteile. Die Entscheidungsanalyse ist ein multidisziplinärer Ansatz, der sich mit Entscheidungsproblemen in komplexen, unsicheren und risikoreichen Umgebungen beschäftigt, mit der Absicht, eine Handlungsempfehlung zu geben. Dieser Bottom-up-Ansatz sammelt das von den Beteiligten (einschließlich der Landwirte) gesammelte Wissen und kombiniert es mit verfügbaren Felddaten und disziplinärem Fachwissen. Dieser Ansatz erlaubt die Einbeziehung aller Variablen, die für die kontextuelle Beschreibung des Problems wesentlich sind, auch wenn diese Variablen schwer zu messen sind.

Der erste Teil dieser Studie beschreibt ein konzeptionelles Modell für das Management des Baumwollkapselkäfer (*Anthonomus grandis grandis*), dem Hauptschädling für Baumwollkulturen in der kolumbianischen Karibik. Dieses konzeptionelle Modell sammelte graue Literatur, informelles lokales Wissen von Anbauberatern und Landwirten sowie disziplinäres Wissen, um einen strategischen Planungsrahmen zu generieren, der die zeitlich-räumliche Skala der Entscheidungsfindung für das Management dieses Schädlings beschreibt d.h. flächendeckendes Management und Farmkontrolle. Dieses konzeptionelle Modell bietet Richtlinien für zukünftige Forschung, insbesondere aber für die Entwicklung von quantitativen Entscheidungsmodellen für das Management des Baumwollkapselkäfers.

Der zweite Teil dieser Studie vertieft das Verständnis für das Management des Baumwollkapselkäfers und wendet die Entscheidungsanalyse an, um pestizidbasierte Strategien zu bewerten, die auf Betriebsebene eingesetzt werden. Proaktive und reaktive Managementstrategien wurden als probabilistische Produktionsfunktionen unter Verwendung der partiellen Budgetanalyse dargestellt. Dieses Entscheidungsmodell erfasst die Schlüsseleigenschaften von Bekämpfungsstrategien und berücksichtigt gleichzeitig die Unsicherheit in Bezug auf Schädlingsbefallsdruck, Bekämpfungseffektivität sowie Baumwollertrag und -preis. Die Simulationsergebnisse deuten darauf hin, dass ein proaktives

Schädlingsmanagement effizienter ist als eine reaktive Kontrolle, wenn man den aktuellen Befallsgrad des Baumwollkapselkäfers berücksichtigt. Die Landwirte bevorzugen jedoch die reaktive Strategie, da sie Saisons mit geringem Befallsdruck erlebt haben, in denen keine Insektizidanwendungen erforderlich waren. In Szenarien mit geringem Befallsdruck wird die proaktive Strategie, die planmäßige Pestizidanwendungen in allen Jahreszeiten erfordert, als Verschwendung angesehen. In Jahreszeiten mit hohem Befallsdruck sinken die erwarteten Erträge der reaktiven Strategie tendenziell, hauptsächlich weil mehr Spritzanwendungen erforderlich sind, wenn die Felder stark vom Schädling befallen sind.

Der vierte Teil dieser Studie konzentriert sich auf die Bewertung der wirtschaftlichen Perspektiven von bewässerten Gartenbausystemen. Diese Produktionssysteme stellen für Kleinbauern eine Alternative zum Baumwollanbau dar. Das Verständnis dieser diversifizierten Systeme erfordert eine Quantifizierung der Produktivität und der damit verbundenen Risiken für die einzelnen Kulturen sowie eine Bewertung der Vorteile der Diversifizierung. Eine solche Ganzbetriebs-Entscheidungsanalyse ist eine Erweiterung der Modernen Portfolio-Theorie (MPT), die in der Lage ist, die Konzepte von Risiken und Erträgen für ein Multi-Asset-Szenario (mehrere Kulturen oder landwirtschaftliche Betriebe) zu verbinden. Die Anerkennung dieser Beziehung ist wesentlich für die Identifizierung von Diversifizierungsstrategien, die Landwirte validieren und an technische oder wirtschaftliche Einschränkungen oder individuelle Präferenzen anpassen können. Dieses Planungslayout für den ganzen Betrieb ist auch nützlich, um die Diversifizierung in anderen Szenarien zu bewerten, wie z.B. Fruchtfolgen, integrierte Viehzuchtbetriebe, Schnittblumenanbau oder Agroforstsysteme.

Diese Arbeit zeigt die Vielseitigkeit der Entscheidungsanalyse für ihre Anwendung auf verschiedene Typologien von Entscheidungsproblemen in der Landwirtschaft. Sie liefert ein konzeptionelles Modellprotokoll, das Planungshorizonte für die zu lösenden Entscheidungsprobleme abgrenzt. In dieser Arbeit werden auch Entwürfe für zwei strategische Entscheidungen bereitgestellt, die in der Literatur über Anwendungen der Entscheidungsanalyse nicht häufig dargestellt werden, aber in landwirtschaftlichen Praxis sehr häufig vorkommen: Produktion unter Risiko und ganzheitliche Planung des Betriebs. Die Produktion unter Risiko wurde für die Modellierung des Pflanzenschutzes als Spezialfall einer Produktionsfunktion, die Verluste beschreibt, verwendet. Dieses Layout hat das Potenzial, ein einheitliches Protokoll für die Bewertung des Nutzens von Schädlingsbekämpfungsstrategien zu liefern, insbesondere für den Vergleich von aktiven und reaktiven Ansätzen. Die Gesamtbetriebsplanung und -führung wurde als Erweiterung der Modernen Portfoliotheorie, angewandt auf diversifizierte Systeme, konzipiert.