

Kaffebladrost i Latinamerika

En översiktsstudie i behandlingsmetoder och ekonomiska möjligheter

ROBIN RIDELL 2017

MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR MILJÖVETESKAPSEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Kaffebladrost i Latinamerika

En översiktsstudie i behandlingsmetoder och ekonomiska
möjligheter

Robin Ridell

2017



LUNDS
UNIVERSITET

Robin Ridell

MVEK02 Examensarbete för Miljövetenskapsexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Lars Harrysson, Socialhögskolan, Lunds universitet

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning

Lunds universitet

Lund 2017

Abstract

Coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) is a pathogen currently threatening sustainable coffee production all across the world where coffee is grown. Yield losses can reach up to 50 % of the production in Brazil and primarily affect regions at low altitude. Costs associated with the rust has been estimated to 616 million USD from 2012-2014 in Central America. Thus, the purpose of this study was to evaluate the three different strategies used in handling the pathogen with regard to environmental aspects and economic possibilities of coffee growers in Latin America. This study demonstrates that while chemical control is efficient, other measures must be taken to ensure a sustainable agriculture. Despite initial success with resistance breeding many cultivars have lost resistance within a few years as a result of an evolution of *H. vastatrix*, pointing to the need of developing better cultivars with sustainable resistance and to then increase the availability and economic possibilities for small-scale coffee growers to incorporate such methods. Lastly, agroecological control of coffee leaf rust has shown potential by promoting an autonomous pest control and sustainability. However, the system has been demonstrated to be complex with different pathogen suppressive results at different locations, demanding excellent knowledge before proper recommendations can be made. Furthermore, the agroecological effects and costs associated with the method need to be quantified and compared to chemical control and control by resistance in order to aid the decision-making of coffee growers with the big aim of creating a sustainable agriculture with less severe pest occurrence.

Innehållsförteckning

Abstract 3

Innehållsförteckning 5

Inledning 6

Metod 8

Resultat & Diskussion 12

Utgångsmodell 12

Kontroll med bekämpningsmedel 13

Kontroll med resistent sorter 17

Kontroll med agroecosystem 20

Kontroll med abiotiska faktorer 20

Kontroll via biotiska faktorer 24

Val av bekämpningsmetoder, dess miljöpåverkan och ekonomiska möjligheter 28

Certifiering 29

Sammanfattning 31

Referenser 32

Inledning

Sedan den första epidemin i nuvarande Sri Lanka år 1869 ända fram till idag har svampsjukdomen kaffebladrost (*Hemileia vastatrix*) medfört stora problem för kaffeodlare {McCook, 2015 #15}. Kaffebladrosten har spridits över atlanten till alla världens hörn och nådde Latinamerikas alla kaffeväxande regioner i mitten av 1980-talet (McCook and Vandermeer, 2015). Zambolim (2016) belyser att främst i länder som Brasilien, med odlingar på låg höjd (mindre än 1200 m ö.h.) är rosten ett stort hot för kaffeplantor, som kan resultera i 30 % till 50 % förlust i skörd. *Coffea arabica* är till störst del utsatt men även den lite mer resistent *Coffea canephora* (i vardagligt tal: Robusta), dock i mindre utsträckning (Zambolim, 2016).

Internationella kaffeorganisationen (2014) hävdar att skördeförlusten varierar i olika länder och mellan åren 2011/12 och 2013/14 minskade kaffeproduktionen i hela Centralamerika med 17%. Förlusterna var bland annat ca. 10% i Mexico och Costa Rica, ända upp till 45 % i El Salvador. Det uppskattas även att rosten har kostat Centralamerika mer än 616 miljoner dollar från år 2012 till 2014 (International Coffee Organization, 2014). Dessutom gjorde den internationella kaffeorganisationen (2016) en studie som täckte åren 2007/08 till 2015/16 för att undersöka och göra någonting åt produktionskostnader, intäkter och vinster på nationell nivå. Studien innefattade Brasilien, Costa Rica, Colombia och El Salvador och visade att odlingen inte var ekonomiskt hållbar för många. Problemet ligger i att produktionskostnaderna ökat över de senaste 10 åren medan kaffepriset varierar kring ett relativt konstant medelvärde. Denna ohållbarhet resulterar i att kaffeodlaren måste göra svåra avvägningar mellan att plantera nya träd eller investera i en bekämpningsmetod, om de ekonomiska möjligheterna ens finns. Vidare anser organisationen att produktiviteten måste öka genom effektivare användning av gödningsmedel, nya sorter kaffe och bättre agronomiska tekniker (International Coffee Organization, 2016). Till detta har låga kaffepriser i kombination med höga investeringskostnader lett till sämre hantering av kaffeplanteringen som i sin tur gynnat epidemier av *H. vastatrix* i Colombia (Avelino et al., 2015).

Framför allt fyra olika tillvägagångssätt att hantera rosten har använts historiskt sätt; bioprospektering för att hitta resistent kaffesorter, kemisk kontroll med hjälp av fungicider, selektiv avling av resistent kaffesorter och agroekologisk kontroll (McCook and Vandermeer, 2015). Kemisk kontroll i form av fungicider används ofta då risken för en epidemi är stor, och detta sker mest i formerna koppar, triazoler

och strobiluriner (Zambolim, 2016). Problemet däremot, är det hållbara nyttjandet av jordbruksmarken som medför en osäker framtid för odlaren så väl som för miljön.

Således är den här studiens mål att ge en ökad förståelse för de tillgängliga alternativen att kontrollera kaffebladrostningen med, det vill säga via agroekologi, resistent sorter samt bekämpningsmedel och diskutera hur de framstår miljömässigt och ekonomiskt.

Metod

En litteraturstudie valdes eftersom det ger möjligheten att förstå olika teoretiska tillvägagångssätt för ett givet forskningsområde samt potentialen att upptäcka nya variabler som kan vara av betydelse (Bryman, 2008). Vidare kan en litteraturöversikt lyfta fram betydande kontroverser (Bryman, 2008), som är av vikt för studiens syfte, det vill säga att analysera vilka behandlingsmetoder mot *H. vastatrix* som framstår vara lämpliga med hänseende på miljön och ekonomi. Slutligen hjälper en litteraturstudie med att belysa obesvarade forskningsfrågor som leder till en ny frågeställning. På så sätt undviks att samma koncept återuppträffas och att de förknippade argumenten får en större tyngd (Bryman, 2008).

I web of science gjordes de främsta sökningarna eftersom en bibliografisk databas som denna där artiklarna är kvalitetskontrollerade och sökorden kan vara väldigt specifika och utan att få för många träffar för att kunna hanteras. Den inledande sökningen var generell (Tabell 1), genererade 211 träffar och gjordes för att kunna vara så objektiv som möjligt till ämnet. Utifrån denna överblick delades arbetet in i tre olika delar med motsvarande sökord: Coffee AND rust AND följt av 1. Agroecosystem, 2. Chemical control och 3. Resistance breeding (Tabell 1). Sökresultaten behandlade fördjupningsområden som till fullo inte kom med i sökordet "agroecosystem", nämligen skugga och biologisk kontroll. Alternativet att söka på "ecosystem" genererade inte andra studier som tidigare inte hittats och bedöms därmed inte utgöra någon skillnad i resultatet. Sökningarna gjordes till en början i Web of Science men sedan även i Lubsearch då inte författaren Vandermeers publikationer kom med som anses vara relevanta för förståelsen i ämnet agroecosystem och eftersom de blivit refererade till i flera översiktsartiklar så som Zambolim med fler (2016). Andra författare som ansågs vara viktiga dels genom dess resultat men även frekvensen som de blivit refererade till av senare artiklar ledde till att en omformulering av sökorden gjordes så att även dessa kunde hittas vid sökningarna. Några författare som bedömdes vara viktiga förutom Vandermeer var Soto-pinto, de Souza, Silva, Avelino och del Grossi. Ofta resulterade inte de alternativa sökningarna till fler relevanta träffar utan istället generella, äldre källor med hänseende på patogenet från flera år innan 2000-talet.

Eftersom en så stor mängd studier kom med vid sökningarna i databaserna Web of science och Lubsearch så söktes det inte vidare efter ytterligare underlag via referenser från översiktsstudierna. Träffarna i de båda databaserna var nästan identiska med undantaget att Lubsearch genererade fler källor, vilka ofta visades inte

uppnå sökkriterierna. För området "biological control" och resistens söktes det även med det latinska namnet för kaffebladrosten istället för enbart "rust" för att komplettera sökningarna. Vidare utvecklades sökordskombinationen "coffee AND rust AND resistance breeding" som endast gav 6 träffar och ansågs därmed inte ha inkluderat tillräckligt med källor för att rättvist tolka ett så invecklat forskningsområde. Den nya kombinationen bestämdes till "coffee AND Hemileia vastatrix AND resistance breeding" vilket resulterade i 27 träffar. Genomgång av träffarna visade ibland att fokus lades på mer specialiserade områden inom resistens, snarare än resultatet av förädlingen. Av den anledningen valdes även sökorden "coffee AND Hemileia vastatrix AND resistant cultivar" då fokus istället kom att landa på resultaten av förädlingarna och kartläggning av genotyperna vilket jag anser ger en kompletterande uppfattning till källorna genererade av de tidigare sökorden.

Förutom att artikeln måste vara relevant för den här studien måste publikationen vara på antingen engelska eller svenska. Endast ett fåtal källor hittades på portugisiska eller spanska men med begränsade språkkunskaper kunde dessa inte tas med. Äldre artiklar från tidigt 90-tal som behandlar ekonomiska möjligheter valdes bort eftersom dess relevans till idag betraktas som begränsade på grund av att så lång tid har passerat och rimligtvis därmed även förändring i pris och utbud på kaffe så väl som bekämpningsmetoder. Slutligen måste artiklarna vara tillgängliga via antingen Lubsearch, Web of science, Google Scholar eller motsvarande databas som kan nyttjas av studenter via Lunds universitet. Endast ett fåtal artiklar har varit omöjliga att få tag på, då de krävs tillgång till i form av prenumerationer i deras databaser. En artikel kunde inte nås av Haddad med fler (2006) med titeln "Biological control of leaf rust organically-grown coffee" men anses inte påverka resultatet eftersom senare källor av samma författare (Haddad et al., 2009, Haddad et al., 2013) som bygger vidare på samma ämne kunde nås.

Databas	Sökord	Antal träffar	Kriterier
Web of science	Coffee AND hemileia vastatrix	211	Beskriver antingen 1: Kemisk bekämpning

			eller 2: resistens, eller 3: agroecosystem. Är studier på Latinamerika.
Web of science	Topic: Coffee AND hemileia vastatrix AND status	4	Beskriver Hemileia vastatrix och status för sjukdomshanteringen.
Web of science	Topic: Coffee AND rust AND solution	7	Beskriver föreslagna lösningar.
Lubsearch	Topic: Coffee AND rust AND agroecosystem	12	Utredar hur agroecosystem påverkar bladrosten. Begränsas med att beskriva hur ekosystemet fungerar och tar inte hänsyn till genetiska egenskaper hos patogenet naturliga fiender.
Web of science	Topic: Coffee AND rust AND agroecosystem	8	Se ovan.
Web of science	Topic: Coffee AND biological control AND rust	19	Undersöker kontroll av kaffebladrost i biologisk form.
Lubsearch	Topic: Coffee AND biological control AND rust	26	Se ovan.
Lubsearch	Topic: coffee AND historical AND rust	8	Beskriver historikutvecklingen för bekämpningen av kaffebladrost.
Lubsearch	Topic: coffee AND rust AND shade	18	Undersöker skugga med hänseende på <i>H. vastatrix</i> i Latinamerika
Web of science	Topic: coffee AND rust AND shade	19	Se ovan.
Web of science	Topic: coffee AND	21	Undersöker kemisk

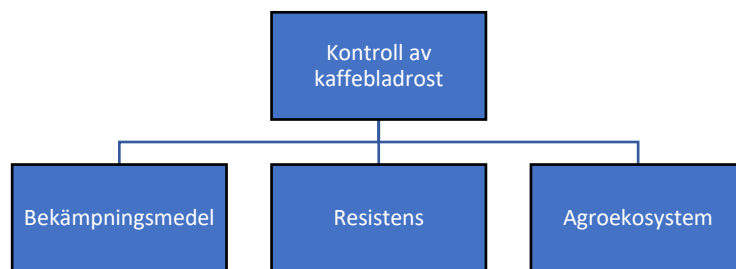
	chemical AND control AND rust		kontroll i form av bekämpningsmedel mot kaffebladrost.
Lubsearch	Topic: coffee AND chemical AND control AND rust	31	Se ovan.
Web of science	Topic: coffee AND resistance breeding AND rust	6	Undersöker förädlingen av resistent sorter och dess möjligheter.
Web of science	Topic: coffee AND resistance breeding AND Hemileia vastatrix	27	Se ovan.
Web of science	Topic: coffee AND Hemileia vastatrix AND resistant cultivar	21	Se ovan.
Web of science	Topic: coffee AND Hemileia vastatrix AND biological control	21	Undersöker biologisk kontroll av kaffebladrost.

Tabell 1. Tabellen visar vilken databas som användes, antal träffar och sökkriterier för motsvarande sökord.

Resultat & Diskussion

Utgångsmodell

Arbetet behandlas genom att observationer och resultat för olika behandlingsmetoder (Fig. 1) beskrivs i detalj för att den efterföljande diskussionen ska bli förstående. Kontroll i form av bekämpningsmedel beskrivs först, följt av kontroll via resistens och sedan kontroll via agroekosystem i enlighet med den kronologiska ordningen. Dess lämplighet på miljön och ekonomiska möjligheter diskuteras även.



Figur 1. Utgångsmodell för kontroll av kaffebladrosten och dess tre tillvägagångssätt.

Kontroll med bekämpningsmedel

Baserat på litteraturen verkar de vanligaste sätten att bekämpa kaffebladrosten med i Sydamerika och främst i Brasilien vara i form av beskyddande besprutning och systemisk applicering av bekämpningsmedel på plantans blad (Zambolim, 2016, de Souza et al., 2011). De Souza med fler (2011) menar att beskyddande besprutning ofta sker i form av kopparbaserade fungicider (kopparhydroxid eller kopparoxiklorid) som appliceras mellan fyra till sex gånger innan regnsäsongen börjar och kan senare kompletteras av systemisk besprutning, främst i form av triazoler i jorden eller på bladen. Antingen sker den skyddande besprutningen mellan månaderna december och längst till april eller då man upptäckt *H. vastatrix* till max 5 % frekvens. Om applicering sker senare och skörden är stor så är effekten betydligt sämre. I kontrast var kopparbehandlingen effektivare åren där skörden var mindre med motsvarande frekvens rost på 10-30 % i jämförelse med den maximala frekvensen (50-80 %) för obesprutade blad. För att kontrollera kaffebladrost i säsonger med hög skörd är det säkraste alternativet att använda systemiska fungicider i jorden eller på bladen. Trots att den beskyddande besprutningen inte var effektiv alla sex åren som studien pågick blev det däremot ingen förlust i skörd jämfört med den systemiska appliceringen (de Souza et al., 2011). Kopparoxiklorid har visats vara underlägsen i bekämpningen av kaffebladrost med frekvensen 59,9 % rost jämfört med andra fungicider som epoxiconazol (37,3 %) och tetraconazol (35,4%) medan icke applicerade plantor hade 91,5% frekvens rost (Patricio et al., 2008).

De Souza med fler (2011) menade på att en beslutsfattande gräns på frekvensen 10 % rost är lämplig för systemisk applicering i form av cyproconazol när andra viktiga variabler tas hänsyn till. Vidare konstaterades även att både beskyddande besprutning och systemisk applicering i sina ensamheter genererade en 22 % högre skörd jämfört med icke behandlade plantor.

Lopes med fler (2014) undersökte kombinationen silikon och triadimenols potential att bekämpa *H. vastatrix* i Brasilien mellan åren 2006-2009 där sjukdomsfrekvensen var över 90 %. Där misslyckades förhoppningen om att Silikon skulle kontrollera rosten medan triadimenol resulterade i 117% ökning i skörd jämfört med plantor som inte blivit behandlade (Lopes et al., 2014). En annan studie visade att fungicider i form av triazoler och strobiluriner kunde minska frekvensen bladrost från 50-80 % till 24-39 % där de effektivaste systemiska fungiciderna nästan totalt undantryckte *H. vastatrix* och var effektiva även fyra dagar efter inokulation av sjukdomen (Honorato et al., 2015).

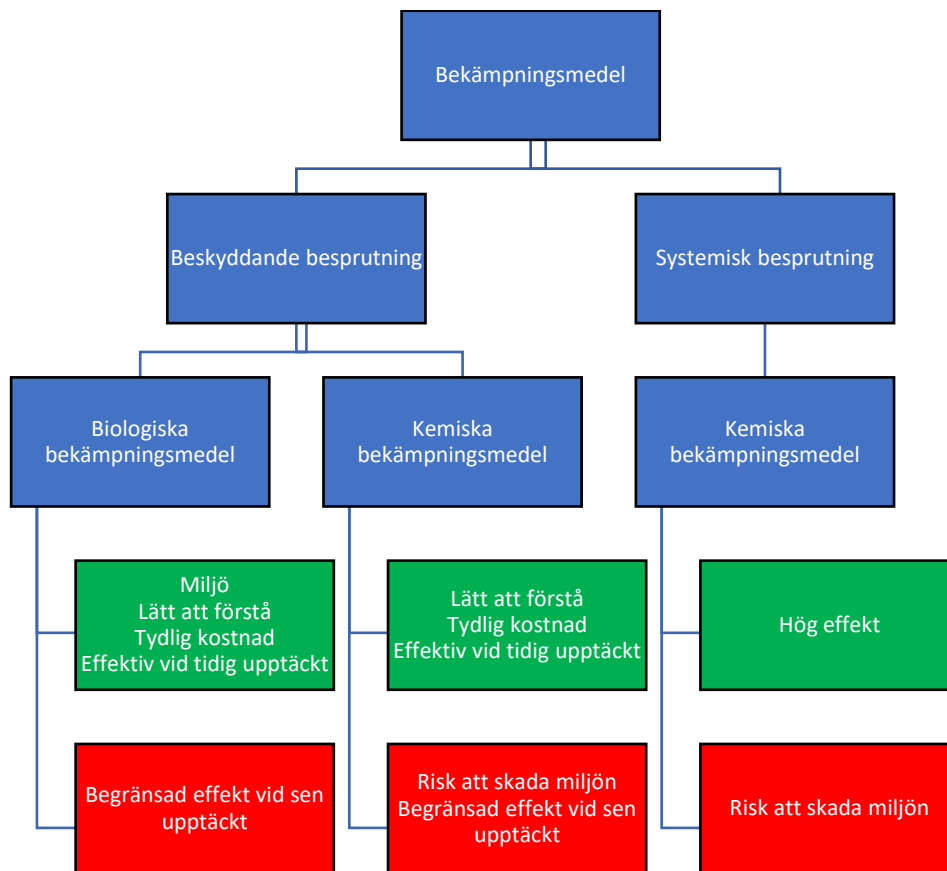
I kontrast till hantering via kemiska bekämpningsmedel undersökte Haddad med fler (2009) ett potentiellt biologiskt bekämpningsmedel i en ekologisk kaffeodling i Brasilien på sju olika isolat av bakterier och dess motsvarande effektivitet. Vidare syftar studien på att främst två isolat hade kontrollerande egenskaper på rosten, *Bacillus sp.* isolat B157 och *Pseudomonas sp.* isolat P286. Isolat B157 var lika effektiv som kopparhydroxid och ansågs därmed vara ett potentiellt bekämpningsmedel i sådana kaffeodlingar. Resultaten visade att tiden för applicering var avgörande för effektiviteten. Om detta skedde i början av stadiet, med intensiteten på 5-8 % kunde både isolat B157 så väl som P286 kontrollera patogenet. Om appliceringen istället skedde när epidemin redan hunnit bryta ut med en intensitet på 23,8 % kunde ingen av isolaten undantrycka rosten. En tidigare studie där olika bakterieisolat tagna från blad och grenar visade hämmande effekter på groningen av sporer från *H. vastatrix* vilket stärker teorin om tidig applicering (Shiomi et al., 2006). Dessutom har (Silva et al., 2012) gjort en studie i Brasilien som undersökte totalt 234 stammar av endofytiska bakterier och dess förmåga att hämma *H. vastatrix* samt främja fröernas tillväxt. Även om ingen främjande effekt kunde ses på ställen där *H. vastatrix* kontrollerades, belystes även där vikten av att tillsätta biologiska bekämpningsmedel i tid. Maximala kontrollen av rosten noterades då tillsättningen av biologiska bekämpningsmedel skedde antingen 24 eller 72 timmar innan introduktionen av *H. vastatrix* (Silva et al., 2012). Dessutom kunde vissa isolat eller stammar öka allvarligheten av sjukdomen (Shiomi et al., 2006, Silva et al., 2012).

Eftersom bekämpningsmedel demonstrerats effektivt i bekämpningen av kaffebladrost (Honorato et al., 2015) och resulterat i högre skörd jämfört med obesprutade plantor (de Souza et al., 2011), kan metoden framstå som ett lockande alternativ att hantera rosten med.

Vilken form som är lämpligast varierar i olika situationer. Upptäcks rosten i tid, och med låg frekvens på upp till 5 % finns ett par möjliga alternativ: antingen kan bonden använda sig av kopparoxiklorid i appliceringen som haft bra effektivitet (de Souza et al., 2011), eller det senare alternativet, biologiska bekämpningsmedel i form av *Bacillus sp.* isolat B157 som i liknande scenario varit lika effektiv som kopparbaserade fungicider (Haddad et al., 2009). Fördelen med de kopparbaserade fungiciderna är att effekterna på bladrost är kända sedan länge och kan därför betraktas med en viss säkerhet (Fig. 2). Trots att dessa varit mindre effektiva än andra bekämpningsmedel i år med högre skörd, resulterade appliceringen inte i minskad total skörd över sex år, troligen på grund av näringstillskottet av koppar som kaffeträden får i och med appliceringen (de Souza et al., 2011). Nackdelen med att använda kopparappliceringen är en miljörisk, att jordbruksmarken tar skada efter många års applicering (Fig. 2). Dessutom finns andra alternativ som är bättre på att kontrollera rosten så som tetraconazol (Patricio et al., 2008).

Vidare är det av stor vikt att vara säker på bakterieisolatens negativa effekt på rosten, då vissa isolat demonstrerats öka allvarligheten (Haddad et al., 2013). Om istället bladrostfrekvensen övergår 5 % och i år med stor skörd kaffebär har inte kopparoxikloriden varit effektiv (de Souza et al., 2011) och inte heller biologiska bekämpningsmedel då frekvensen *H. vastatrix* är uppemot 24 % (Haddad et al., 2009). Därför blir frekvensen bladrost vid upptäckt och om det är ett år med hög förväntad skörd avgörande för vilka bekämpningsmetoder som är möjliga och lämpliga ur ett miljöperspektiv. Är den förväntade skörden låg och med distinkta våt- och torrperioder kan beskyddande besprutning vara ett bra alternativ eftersom senare systemisk applicering inte behöver användas och på så sätt begränsas kemikalieutsläppen i miljön. Scenariot blir betydligt svårare då våt- och torrperioderna är mer oregelbundna eftersom effektiviteten att bekämpa rosten har visats vara högst innan groningen (Shiomi et al., 2006, Silva et al., 2012).

I värsta scenariot där groningen av sporer till *H. vastatrix* redan ägt rum finns det flera effektiva kemiska bekämpningsmedel i form av systemisk applicering att överväga så som epoxiconazol, tetraconazol, cyproconazol, och triadimenol. Det vore lämpligt att utvärdera och jämföra ovan nämnda effektiva bekämpningsmedel med hänseende på miljön för att kunna få ut en mer "praktisk effektivitet" och således underlätta beslutsfattande för rekommenderade gränsvärden och tillvägagångssätt för kaffeodlare. Det kanske visar sig att den dyraste fungiciden är effektivast att bekämpa bladrosten med, men även att den har störst negativ påverkan på miljön. I sådana fall kan det vara lämpligt att reglera vilka fungicider som ska vara tillåtna att använda och när, så att bästa möjliga teknik på marknaden används, om priset för denne anses vara rimligt. Ett annat sätt är genom informering och utbildning av kaffeodlare i ämnet hållbarhet så att de kan få ett bättre perspektiv och kan göra lämpligare beslut.



Figur 2. Modellen visar olika metoder (blå textruta) i form av bekämpningsmedel att behandla *H. vastatrix* med och motsvarande fördelar (grön textruta) och nackdelar (röd textruta).

Kontroll med resistent sorter

Avelino med fler (2015) konstaterade med hänseende på kaffebladrostkrisen i Colombia och Centralamerika mellan åren 2008-2013 att förädling av resistent kaffesorter är den bästa långsiktiga lösningen att hantera rosten med. Förädling mellan *C. canephora* (Robusta) och *C. arabica* har visats vara lämpliga att korsas då samtliga resistent faktorerna kommit med i resultatet Hibrido de Timor (Avelino et al., 2015). Dock har problem uppstått med bland annat sorten ”Catimor” då dessa är mer benägna att få andra pester än rost (Staver et al., 2001). Därtill har Del Grossi med fler (2013) genom att utvärdera resistensen på två ställen mot patogenet hos sorter som utvecklats av forskningsinstitutet i Brasilien demonstrerat att framställningar från sorterna Sarchimor, Catimor, Catindu, Icatu och Catucaí germplasm som tidigare påvisat fullständig resistens för *H. vastatrix* nu blivit känsliga.

Carvalho med fleras (2011) studie indikerade att den till synes asexuella reproduktion som sker i urediniosporerna av *H. vastatrix* i själva verket är sexuell. Upptäckten om fenomenet, kallat kryptosexualitet tros förklara varför nya fysiologiska raser av *H. vastatrix* uppkommit och därmed kunnat kringgå resistensen hos de förädlade kaffesorterna. Den genotypiska diversiteten hos *H. vastatrix* kan bero på frånvaron av ogynnsamma klimat eller att den mottagliga värden är tillgängligt året om som innebär att induktionen av resistens överlever och därmed blir inte *H. vastatrix* helt undantryckt (Maia et al., 2013).

I hybriden ”Hibrido de Timor” där förädlare överfört resistensen till *H. vastatrix* från *C. canephora* till *C. arabica* kan ha inneburit att patogenet har fått bättre förutsättningar att infektera båda arterna som en evolutionär följd av de resistent generna från *C. canephora* (Maia et al., 2013). En annan förklaring till förlusten i resistens av sorter som blivit framställda av Hibrido de Timor är *H. vastatrix*s stora variation inom subpopulationer, vilket tyder på dess höga evolutionära hastighet (Cabral et al., 2016).

Det finns dock sorter som rapporterats besitta fullständig resistens mot alla fysiologiska raser av *H. vastatrix*, till exempel IPR 98 som är en korsning mellan *C. arabica*, sorten *arabica* och *C. arabica*, sorten *arabica* x *C. canephora* och är framställt av Hibrido de Timor (Sera et al., 2007). Dock har IPR 98 och ett flertal andra sorter så som Catiguá MG 1 och MG 2, IAPAR 59, IPR 104, Palma II, Parasío H-419-10-6-2-5-1, Parasío H-419-10-6-2-10-1, Parasío H-419-10-6-2-12-1 samt Sacramento MG 1 behållit sin resistens i Londrina och Congonhinhas i Brasilien {Del Grossi, 2013 #54}.

Sedan 21 markörer korrelerade till den resistenta genen S_H3 identifierades (Prakash et al., 2004) har även två markörer hittats som ganska säkert bekräftar var S_H3 genen finns (Prakash et al., 2011). Med hjälp av mättade genetiska kartor fann Diola med flera (2011) en dominant gen som ansvarade för resistensen mot *H. vastatrix* ras II i Hibrido de Timor. Med hjälp av sådana kartor underlättas assisterad selektion i förädlingsprogram genom bland annat möjligheten att analysera olika regioner i kromosomerna (Diola et al., 2011). En identifikation gjordes av tre markörer kopplade till resistensen hos Hibrido de Timor UFV 427-15, samma sort och typ som Diola med fler (2011) undersökte (de Brito et al., 2010).

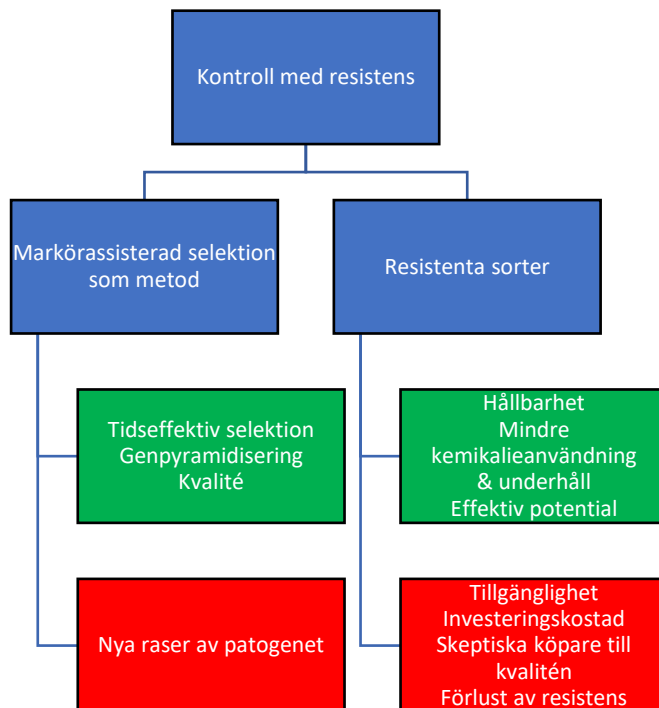
Genom att förstå evolutionsprocessen hos kontrolleras menar Diola med flera (2013). 108 olika uttryckta gener identifierades i resistenta kaffeplantor varav 20 % visades relatera till signalgener och 22 % till försvarsgener. Signalgenerna uttrycktes mest 24 timmar efter inokulationen skett medan försvarsgenerna först efter 72 timmar. Bland signalgenerna uttrycktes nukleotidbindande ställen med leucinupprepning och bland försvarsgenerna, thraumatins i störst grad (Diola et al., 2013). Guerra-Guimaraes med flera (2015) fortsatte att forska på mekanismerna som var ansvariga för upphovet av resistensen och visade att ökningen proteiner var större än icke-resistenta plantor 72 timmar efter inokulationen och mer markant än efter 24-48 timmar. Genom att identifiera sådana proteingrupper kan motsvarande gener för dessa proteinmarkörer användas i markörsassisterade förädlingsprogram (Guerra-Guimaraes et al., 2015). Pestana med fler (2015) menar dessutom att molekylära markörer via markörsassisterad selektion har fördelen att förädla effektivt utan att få med epistatiska effekter, det vill säga utan gener som är beroende av andra gener för att få den önskvärda effekten. I samma studie identifierades även markörer till resistensen mot *H. vastatrix* ras I och II.

Med hjälp av markörsassisterad selektion kunde Alkimim med fler (2017) upptäcka 11 resistenta individer som är homozygota för S_H3 genen varav 7 även bär på den andra resistenta genen " $S_H?$ " från Hibrido de Timor. Dessutom visades för första gången att S_H3 genen härstammat från *Coffea liberica*. Ett stort antal av alla kaffeplantor som planterats i Brasilien för sin förmodade resistens till *H. vastatrix* genom S_H3 visades istället inneha genen $S_H?$. Således demonstrerades att flera resistenta markörer som inte observerats i korsningar så som *C. liberica* x *C. arabica* kan finnas. För första gången lyckades även flera resistenser förädlas genom markörsassisterad genpyramidisering då både *Colletotrichum kahawae*, ett annat patogen, via genen CK-1 och kaffebladrost med genen $S_H?$ hittats i en planta.

Van der Vossen och Walyaro (2009) menar att koppkvaliteten inte nödvändigtvis behöver vara sämre i resistenta kaffesorter som förädlats från *C. arabica* och *C. canephora* än traditionella sorter som är kända för dess goda kvalité så som Typica, Bourbon, Mundo Novo med flera. Detta tros kunna göras genom multipla återkorsningar tillsammans med bland annat bättre hantering av skörden och bearbetningen av varan, något som ibland har försämrats som en följd av dålig

vinstmarginal för odlaren (van der Vossen and Walyaro, 2009). Således bör korsningen inte innebära sämre betalt på marknaden.

Samtidigt som ett stort antal forskare belyser potentialen med markörassisterade förädlingsprogram (Alkimim et al., 2017, Pestana et al., 2015, de Brito et al., 2010), är det i praktiken inte alltid så lätt att implementera de framtagna resistent sorterna (Fig. 3). För det första menar Van der Vossen med fler (2015) att de småskaliga odlarna har ett begränsat utbud med ofta låg genetisk renlighet i sorterna. Dessutom saknas kunskapen om fördelarna med de nya sorterna. Detta följt av begränsade möjligheter till kreditfacilitet vilket innebär att odlarna inte har råd att plantera nytt och insatserna förknippade med det (Fig. 3). Vidare anses att systemet är ineffektivt i att utöka och fördela de nya hybridsorterna eftersom kaffeförädlingsprogrammen ofta är finansierade av statliga bidrag, bidrag från odlare och från internationella biståndsgivare, vilket ibland innebär ett förbud av att exportera fröer. En grundförutsättning är ett internationellt samarbete som är begränsat till stadierna före konkurrens i form av att bland annat dela genetiska resurser och applicera genetiska och genomiska teknologier (van der Vossen et al., 2015). Slutligen finns ett konsumentproblem i form av skeptiska köpare till dryckeskvalitén av dessa hybrider (Van der Vossen, 2009). En möjlighet är att inkludera både resistent gener och genlinjer som medför god dryckeskvalité genom selektion (Bertrand et al., 2003). Således återstår endast att köparna smakar kaffet för att förstå dess kvalité och därmed kan även ett högre pris tas som gynnar kaffeodlaren ekonomi och möjligheter.



Figur 3. Visar en översikt av kontroll via resistenta sorter och markörassisterad selektion som metod. Blå textrutor motsvarar generella ämnen och gröna textrutor symboliserar positiva aspekter med en given metod medan röda är negativa.

Kontroll med agroekosystem

Kontroll med abiotiska faktorer

Staver med fler (2001) visade att skugga hade en påverkan på förekomsten av olika pester, däribland kaffebladrost. De menar att det är viktigt att ta hänsyn till att den optimala skuggtäckningen eftersom kontrollen av pestkomplexet varierar med altitud, klimat och jord. Det föreslås att skuggintensiteten bör ligga mellan 35 till 65 % på odlingar där höjden är 600 till 900 m över havsytan, har en årlig nederbörd mellan 1200 till 2000 mm och liten användning av kemikalier. Den högsta skuggtäckningen bör vara vid mitten av torrperioden medan den lägsta i mitten av regnperioden för att undanhålla andra pester utan att främja kaffebladrost. En medelmåttig intensitet anses ge bäst förutsättningar att begränsa pester, då vissa kan främjas och andra hämmas av skugga. Dessutom anses att skugga även resulterar i

bättre kvalitet utan att minska skörden. Två olika vägar att uppnå varierande skuggtäckning över året föreslås, antingen via självbeskärande träd eller genom systematisk beskärning (Staver et al., 2001).

Avelino med fler (2012) visade att landskapets sammanhängning påverkade utspridningen av pester och patogen i Costa Rica genom olika typer av habitat. I kontrast till majoriteten av studier som har tittat på de indirekta aspekterna av olika landskap analyserades istället den direkta påverkan. Detta gjordes i områden där kaffebladrost saknades eller hade begränsade naturliga fiender och på så sätt undveks de indirekta aspekterna. Resultatet visade att frekvensens bladrost hade negativ korrelation med jordens pH och årlig gödsling. Det återfanns också en positiv korrelation mellan den maximala frekvensen bladrost till antalet fruktnoder per kaffeträd och procent skuggtäckning. Vidare främjades frekvensen bladrost med större andel kringliggande betesmark. Författarna tror att anledningen var ökade spridningsmöjligheter vid öppen mark eftersom patogenet är luftburet. En fragmentering av kaffeodlingarna föreslås i form av skogskorridorer för att minska spridningen av *Hemileia vastatrix*, men även andra pester så som "kaffebärsborraren" (*Hypothenemus hampei*) (Avelino et al., 2012) som visats korrelera positivt med varandra i en tidigare studie (Soto-Pinto et al., 2002). Införandet av skogskorridorer är en möjlighet som även främjar ekosystemtjänster, så som predation på kaffebärsborraren av myror (Avelino et al., 2012). Cerda med flera (2017) stärker teorin om ekosystemtjänster med skuggtäckning där fler ekosystemtjänster visat främjas av skogsjordbruk än i odlingar i öppen sol. För att främja ekosystemtjänster på bästa sätt bör skogsjordbruket konstrueras med viss diversitet och produktivitet i skuggtäckningen samt medelintensiv beskärning av träden (Cerda et al., 2017).

Allinne med fler (2016) har demonstrerat att de topoklimatiska förhållanden i olika kaffeplantage utgjort huvudorsaken till skadeprofilen, det vill säga fördelningen av olika pester och patogen på kaffeplantor. Fyra olika skadeprofiler karaktäriserades med olika sjukdomar, däribland kaffebladrost. Liksom skadeprofilen var motsvarande skördeförlust i kaffeplantagen beroende på topoklimatiska förhållanden. Skadeprofilen som innehöll mest kaffebladrost (39 %) hade medelhöjden 1000 meter över havet och låg lutning. Två odlingsmetoder var förknippade med profilen som dessutom hade hög skuggtäckning och antingen 1: liten användning av gödsling och herbicider eller 2: kontinuerlig användning av herbicider. Dessa lokala miljöförhållanden är därför viktiga att ta hänsyn till vid bestämningen av odlingsmetoder och behandling av sjukdomar på plantorna (Allinne et al., 2016). Vidare har andra faktorer än altituden som genom lägre temperaturer hämmat patogenet, nämligen lokala faktorer så som gödsling, skugga, och produktionsgenskaper varit viktiga (Avelino et al., 2006).

Förutom varierande miljöförhållanden menar Allinne med fler (2016) att kaffeodlingarna har olika ekonomiska incitament beroende på vilken höjd plantagen ligger på, eftersom kaffe från lägre höjd ofta anses ha sämre kvalitet i kaffekoppen än högre bevuxet, och är därför ofta även värt mindre på marknaden. Vidare anses att

att analyser av skadeprofiler och dess motsvarande skördeförkastelser ge en mer komplett bild av problemet, till skillnad från att enbart titta på en pest eller ett patogen. Eftersom skuggtäckningen hade effekter på fördelningen av sjukdomar är det viktigt att kvantifiera skuggtäckningen till skadeprofilen och i sin tur även skördeförkastelserna (Allinne et al., 2016).

Soto-Pinto med fler (2002) gjorde en studie i Mexico med förekomsten kaffebladrost på 10,1 %. Där visades att mängden olika nivåer av skugga var negativt korrelerat med patogenet. Denna komplexitet i form av antalet skuggnivåer, artrikedomen på skuggplantor, och trädensitet kan vara en anledning till den låga frekvensen av rost då en sådan barriär minskar spridningen av sporer. Antalet gånger mellan kaffeodlingen korrelerade positivt med rosten, vilket stödjer teorin om ökade spridningsmöjligheter vid mindre fysiska barriärer. Slutligen konstaterades att ingen korrelation fanns mellan mängden skörd, kaffedensiteten och procent skuggtäckning med rosten (Soto-Pinto et al., 2002). I kontrast till detta har en positiv korrelation mellan skörd tillsammans med antalet blad på kaffeträden och kaffebladrostepidemin observerats i Honduras, på främst altituden 600-1700 meter över havsytan (Avelino et al., 2006).

Skuggtäckning kan vara främjande för bladrost i vissa fall, medan hämmande i andra menar López-Bravo med fler (2012) som gjorde en studie i Costa Rica på ställen där temperaturen varit för hög med hänseende på *H. vastatrix*. Där hade skugga bidragit med ett mikroklimat vars lägre temperatur är närmare det optimala för patogenet tillväxt och därmed bidragit till bättre förhållanden för kaffebladrosten innan infektion. López-Bravo med fler (2012) menar även att skugga kan hämma kaffebladrost genom mindre skörd på grund av mindre frukt på plantorna. Begreppen frekvens och allvarlighet är olika då frekvensen endast tar hänsyn till den totala mängden kaffebladrost, medan allvarligheten innefattar hur stor del som är opåverkad. Således innebär skuggtäckning en kortsiktigt mindre skörd och därför blir allvarligheten högre, men frekvensen lägre. Vid samma belastning frukt på plantorna var dock fortfarande frekvensen och allvarligheten högre under skugga (López-Bravo et al., 2012).

Fuktighet och våthet på bladen hade också en främjande effekt på kolonisering av kaffebladrost då groningen är beroende av fritt flytande vatten (López-Bravo et al., 2012). En tidigare studie stödjer teorin där en positiv korrelation mellan mängden nederbörd och den maximala årliga frekvensen kaffebladrost i Honduras observerats (Avelino et al., 2006).

Boudrot med fler (2016) demonstrerade att regniga perioder och skuggade områden i Costa Rica korrelerat med spridningen av *H. vastatrix* sporer med nederbörden. Vind i samma förhållanden hade en motsatt effekt på spridningen genom att minska uppsamlingen av vattendroppar. I kontrast hade skugga negativ effekt på spridningen av sporer via vind i torrperioden. Med det kunde även slutsatsen dras att en låg relativ fuktighet som positivt korrelerar med vind underlättade spridningen av sporer. Således belystes att vind påverkar

sporspridningen negativt i våta, skuggade områden medan positivt i torra perioder under skugga (Boudrot et al., 2016). Ett år tidigare menade även Vandermeer med fler (2015) att skugga minskar vind som reducerar spridningen av sporer till *H. vastatrix* och samtidigt ökar luftfuktigheten som främjar groningen av sporer. Av de anledningarna blir odlingar som saknar skugga olämpliga för patogenet medan de med total skugga också blir olämpliga då spridningen av sporer begränsas (Vandermeer et al., 2015).

Kontroll via biotiska faktorer

Vandermeer och Perfecto (2007) beskriver ekosystemet som olika verkande ingenjörer. Trädmyran (genuset *Azteca*) kan ses som en associativ ingenjör då den kan undertrycka kaffebärsborraren. Förutom de kontrollerande egenskaperna på *H. hampei* kan trädmyror attrahera en annan pest, nämligen sin mutualistiska partner *Coccus viridis* som i sin närvaro bidrar med ett gynnsamt habitat för *L. lecanii*. *L. lecanii* i sin tur har en kontrollerade funktion på kaffebladrost (Vandermeer and Perfecto, 2007). Således kan *C. viridis* hjälpa till att kontrollera kaffebladrost (Garcia-Barrios et al., 2016). Eftersom både kontroll och utbrott av pester kan ske i kaffeodlingar i skugga (Garcia-Barrios et al., 2016), är det viktigt att reda ut ekosystemet i sin helhet. Vandermeer med fler (2010) menar att ekosystemet är komplext med indirekta och ickelinjära samband där trädmyror argumenteras att bli ansedda som en nyckelart i att bekämpa *H. vastatrix*. Genom *Aztecans* förmåga att skrämna iväg flygande insekter som bland annat konsumerar skalbaggar, i detta fall parasitiska getingar, skyddas skalbaggen *Azya orbigera* från sin predator, och kan därför kontrollera *C. viridis* population. Denna kontroll är vad som förhindrar *C. viridis* att bryta ut till en epidemi. Förutom *Aztecans* indirekta påverkan på *C. viridis*, attackerar även dem skalbaggar, men med sämre resultat. Vidare förser myrorna skydd till skalbaggar mot andra flygande insekter som kan va ett hot för dess population. På samma sätt som *Azteca* inte hade kunnat överleva utan *C. viridis* på grund av sin mutualistiska natur kan inte heller skalbaggen överleva utan myrnästaten då den parasitiska getingen då hade undgått sin predator och fritt kunnat konsumera *C. viridis*. Även *Azteca* måste skydda sig från sin predator, nämligen den flygande insekten *Pseudacteon spp.* Dess förhållande är inte som ett klassiskt predator-byte förhållande utan *Azteca* kan både försvara sig och konsumera sin predator. När *Azteca* intar sin försvarsposition utsöndras feromoner som skalbaggschonorna reagerar på och passar då på att lägga sina ägg nära *C. viridis*. På så sätt får skalbaggs larverna både mat och skydd från de parasitiska getingarna genom *Aztecans* kontroll. När *L. lecanii* introduceras i ekvationen kan den slutgiltiga pressen med skalbaggar, *C. viridis* och därmed *Azteca* bli så stor att myrorna letar efter ett nytt habitat. Då *Azteca* har höga krav och återfinns i buskar som generellt sett har 3000 insekter krävs att *Pheidole sp.*, en annan myra som kan leva i buskar med endast 50-100 insekter, först sprider sig till det nya habitatet. Viktigast av allt är skuggan som utgör grunden för hela ekosystemet genom att förse *Azteca* med skydd från *Pseudacteon spp* (Vandermeer et al., 2010).

Genom analyser på *L. lecanii* och dess effekt på kaffebladrosten i en ekologisk kaffefarm i Mexico påvisade Jackson med fler (2012a) en tidsfördröjning mellan epizootin av *L. lecanii* och den negativa effekten på rosten det nästkommande året. Eftersom *L. lecanii* både kan ha *C. viridis* och *H. vastatrix* som värd har minskningen av *C. viridis* inneburit ett försvagat myrnäste av dess mutualistiska partner, *Azteca instabilis*. I kontrast, när *A. instabilis* populationer är stora indikerar det också var *C.*

viridis finns, och påverkar därmed indirekt fördelningen av *L. lecanii*. Detta i sin kontext innebär att stora populationer av *C. viridis* kan indirekt hämma förekomsten kaffebladrost. Eftersom skuggningen var densamma på båda platser i studien kunde man inte peka på något annat som påverkat mikroklimatet och lett till samma resultat. (Jackson et al., 2012a). Då det främst är *C. viridis* som demonstrerats inneha sådana egenskaper anses att en minimumförekomst av denne art krävs för att *L. lecanii* ska kunna få sitt utbrott (Jackson et al., 2012b).

Hajian-Forooshani med fler (2016) gjorde en studie på kaffebladrostens naturliga fiender, *L. lecanii* och *Mycodiplosis hemileiae*, en predator på sporer. Varken *L. lecanii* eller *M. Hemileiae* kan enligt författaren i sina ensamheter undantrycka bladrosten. När de agerar tillsammans däremot, kan de vara effektiva. I Puerto Rico har densiteten varit högre av både *L. lecanii* och *M. hemileiae* än i Mexico, där bladrostepidemin är ett faktum. Anledningen tros vara avsaknaden av trädmyran *Azteca sericeasur* i Puerto Rico som lett till större förekomst av *M. hemileiae* på kaffeträ där vilka blivit infekterade av bladrosten. I Mexico har *A. sericeasur* och andra predatoriska trädmyror funnits som kunnat reducera förekomsten av *M. hemileiae* och på så sätt undkommer bladrosten en av sina naturliga fiender och kan därmed lättare spridas. Studien pekar på betydelsen av att analysera varierande komposition av kolonier i agroecosystem eftersom dessa kan leda till olika resultat på olika geografiska platser (Hajian-Forooshani et al., 2016).

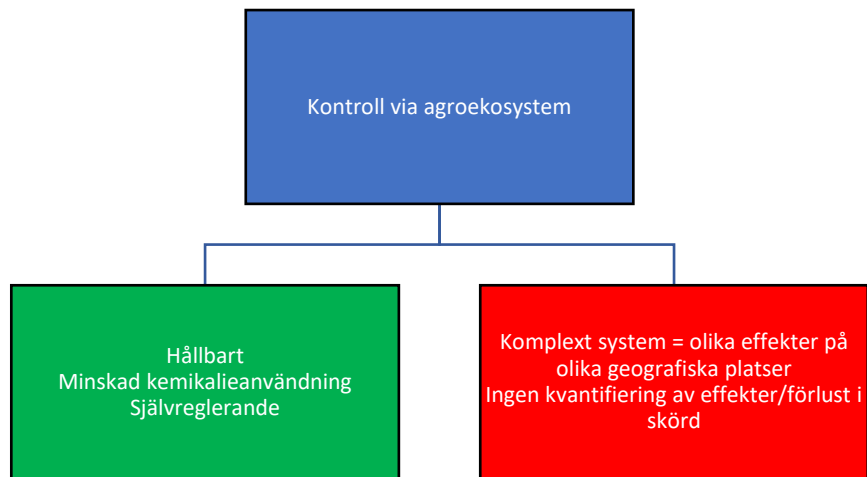
Jackson med flera (2012b) visade att främst i regnsäsongen var förhållandena gynnsamma för *L. lecanii*s spridning eftersom *C. viridis* populationer är större. Regnstänk indikerades leda till en högre infektion på *C. viridis* jämfört med regnstänk och vind. Denna observation kan belysa ytterligare en aspekt med skugga i kaffeodlingar: högre skuggtäckning innebär minskning av regnstänk och vind, vilket får effekten att sporer från *L. lecanii* får svårare att sprida sig från jorden. Samtidigt som spridningsmöjligheterna blir svårare så ökar chansen för infektion då vinden minskar (Jackson et al., 2012b). UVB-strålning har även haft en hämmande effekt på olika isolat av *L. lecanii* i form av en inaktivering samt fördröjd groningen (Galvao and Bettiol, 2014) vilket ger ytterligare en dimension att inkludera i förväntade resultat.

James med flera (2016) menar att framför allt två olika jämvikter förväntas finnas i ett agroecosystem med hänseende på bladrost; 1, då *L. lecanii* har en hög kapacitet att kontrollera *H. vastatrix* förblir bladrosten under kontroll och 2, där *L. lecanii* har en låg kapacitet att kontrollera *H. vastatrix* som leder till epidemier av bladrost. Vandermeer med fler (2014) menar att ett system där *L. lecanii* har bladrosten under kontroll kan förändras med olika parametrar så att odlingsytan fördelas i de två skilda jämvikter. När ytan fördelats till dessa skilda system är mittpunkten mellan dessa ostabila. Detta system kan vanligen kontrollera bladrosten från att nå epidemi status, men vid slumpmässiga störningar kan det uppdelade systemet brytas genom mittpunkten. Slutligen fås ett agroecosystem där *H. vastatrix* är utom kontroll (Vandermeer et al., 2014).

James med fleras (2016) studier på blad från kaffeplantor i Puerto Rico och Mexico indikerade ett hyperdiverst svampsamhälle bestående av upp till 69 operativa taxonomiska enheter på blad som inte var infekterade av bladrost samt upp till 63 på infekterade blad. Svampsamhället varierade i störst grad mellan olika geografiska platser. Mellan Puerto Rico och Mexico delades ett antal operativa taxonomiska enheter, dock inte i samma utsträckning som infekterade samt icke-infekterade blad i Puerto Rico. Med nya identifikationsmetoder som analyserar gensträngarna i DNA:t är förhoppningen att få en bättre bild i hur stor utsträckning olika arter skadar *H. vastatrix*. Till exempel upptäcktes en operativ taxonomisk enhet som är 95 % identisk till *Cordyceps confragosa*. *C. confragosa* är en känd telemorf till *L. lecanii* och kan därför ha liknande hämmande egenskaper på bladrosten. Det innebär att andra mer effektivare biologiska kontrollagenter kan finnas än *L. lecanii* (James et al., 2016).

Framtiden bör gå mot mer skuggade system med minimal användning av agrokemikalier så att inte de naturliga kontrollagenter till bladrosten riskerar att ta skada av generaliserade fungicider (Vandermeer et al., 2014).

Avelino med fler (2004) beskrev hur hanteringen av kaffeplantage resulterade i olika stor skörd. Den första prototypsituationen var av intensivt format, det vill säga tät odling, där bland annat skugga saknades och mycket gödningsmedel användes. Den andra situationen var odlingen var mindre tät, men med skuggor av varierande trädarter samt betydligt mindre gödningsmedel. Den förstnämnda typen hade å andra sidan väldigt hög skörd ett år, men låg skörd det nästkommande året. Plantage 2 hade i kontrast mindre skörd än typ 1 första året, men liknande skörd året därefter. Till detta har odlaren andra problem i form av lågt kaffepris. Det kräver därför djup kunskap i agrofysiologi och hur mycket avkastning kaffeplantage ger för att ge bättre rekommendationer för hanteringen av sjukdomar än endast de med hänseende på geografi och topografi (Avelino et al., 2004).



Figur 4. Visar en översikt för och nackdelarna av kontroll via agroecosystem. Grön färg motsvarar fördelarna medan röd är nackdelarna.

Val av bekämpningsmetoder, dess miljöpåverkan och ekonomiska möjligheter

Vid val av bekämpningsmetoder mot *H. vastatrix* måste först investeringsmöjligheterna tänkas över. Detta eftersom på låg höjd (<1000 m) och i varma klimat är kvalitén på kaffet lägre, vilket begränsar investeringsmöjligheterna (Avelino et al., 2012). Växer kaffet i stället på högre höjd är däremot investeringarna bättre motiverade (Allinne et al., 2016).

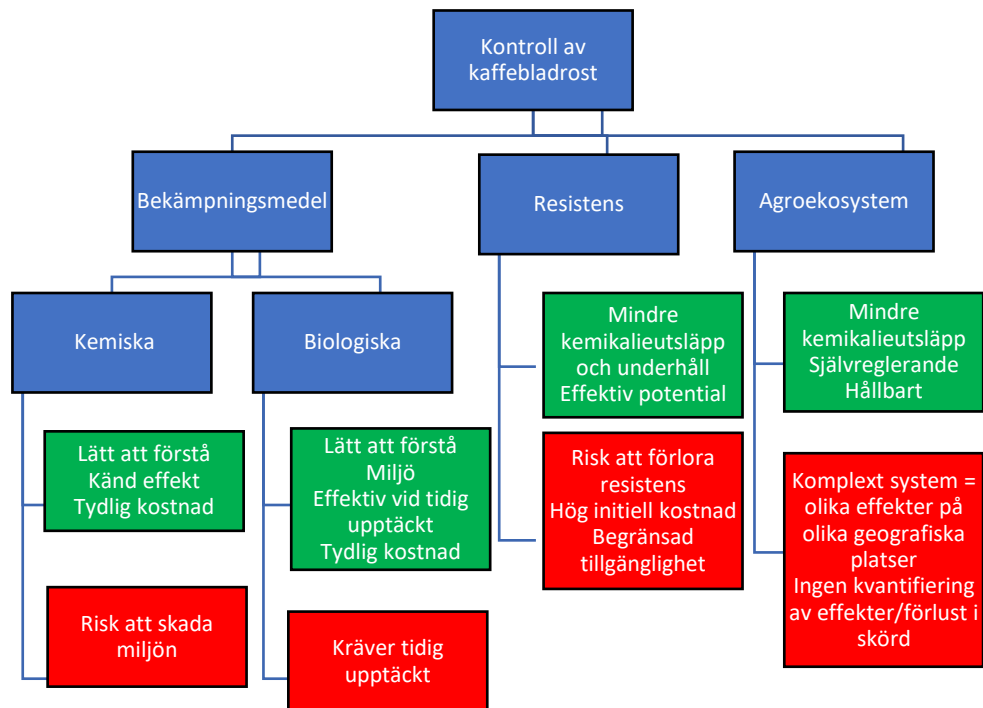
Eftersom bekämpningsmedel kan skada de naturliga agenterna till kaffebladrosten (Vandermeer et al., 2014), är alternativa metoder av intresse. Det går dock inte att förneka dess höga effektivitet i att kontrollera rosten med och att de är lätta för odlarna att förstå sig på (Fig. 5). Då systemiska bekämpningsmedel varit effektiva i applicering flera dagar efter det att *H. vastatrix*s inokulationen skett (Honorato et al., 2015), ges möjligheten att åtgärda problemet om odlaren inte varit förberedd eller hunnit applicera beskyddande medel i tid. Om bekämpningsmedel är av intresse rekommenderas beskyddande applicering i form av biologiska bekämpningsmedel. Detta i formen av *Bacillus sp.* isolat B157 som Haddad med fler (2009) demonstrerat vara lika effektiv som koppapplikering då intensiteten av *H. vastatrix* varit mellan 5-8 %. Om intensiteten istället är på 23,8 % eller mer har inte isolaten varit effektiva.

För att förhindra att hamna i ett läge där odlaren tvingas välja kemiska bekämpningsmedel då dessa visats resultera i högre skörd (de Souza et al., 2011), kan antingen resistent sorter eller agroekologisk kontroll av *H. vastatrix* tillämpas. Fördelen med resistent sorter är att de har en effektiv potential och kräver inte underhåll och kontinuerlig applicering (Fig. 5). Dock är risken stor att dessa sorter kan förlora resistensen efter några år som belysts i en mängd studier (Del Grossi et al., 2013, Carvalho et al., 2011, Cabral et al., 2016). Det finns dock ett flertal sorter, bland annat IPR 98 som visats behålla sin resistens vid utvärdering flera år senare (Del Grossi et al., 2013). Osäkert är däremot om denna resistens kommer finnas kvar efter ytterligare några år. Vidare har planteringen av nya sorter en hög initial kostnad och genererar en liten skörd de två efterföljande åren gör att vinsterna blir begränsade (Avelino et al., 2015). Denna kostnad och reducerad skörd i kombination med osäkerheten i resistensens hållbarhet gör att alternativet just nu kan betraktas som högst riskfyllt. Avelino med fler menar att trots att ekonomiskt stöd ibland kan finnas, till exempel i Costa Rica på 40 miljoner USD för småskaliga jordbrukare, så krävs mer eftersom många länder i Centralamerika redan är skuldsatta. Vidare utgör kaffeproduktionen en mindre del av GDP än det tidigare gjort vilket kan medföra att fler lån inte vill tas för att rädda kaffeodlingarna (Avelino et al., 2015). På så sätt kan det argumenteras att kaffepriset är för lågt och borde genom högre pris kunna öka incitamenten att bekämpa kaffebladrosten.

Det sista alternativet är agroekologisk kontroll av kaffebladrosten vilket kan ha fördelen genom att vara självreglerande som en buffert mot epidemier av sjukdomar (Vandermeer et al., 2010). Trots att systemet är komplext och skugga visats öka förekomsten av *H. vastatrix* genom bland annat lägre, mer optimal temperatur (López-Bravo et al., 2012), och med begränsande spridningsmöjligheter för sporer som en effekt av fysiska barriärer (Soto-Pinto et al., 2002), så kan det konstateras att skugga i många fall påverkar rosten negativt. I skuggiga områden, i den torra perioden har vinden demonstrerats ha en negativ påverkan på spridningen av sporer, medan motsatta samband gäller för våta, skuggiga områden (Boudrot et al., 2016). Eftersom sambanden med skugga, trädmyror och andra ekologiska interaktioner är motstridande (Vandermeer et al., 2010, Hajian-Forooshani et al., 2016), är det viktigt att anpassa rekommendationerna för hanteringen av rosten via agroekologisk kontroll beroende på hur hela ekosystemet ser ut i den specifika kaffeodlingen.

Certifiering

I Nicaragua visades att trots Fairtrade och ekologiska certifieringar kan öka kaffepriset, har inte lönsamheten ökat för odlarna, då sådana odlingar kräver mer arbetskraft (Beuchelt and Zeller, 2011). Weber (2011) anser att trots certifieringarnas oförmåga att öka lönsamheten för kaffeodlare kan de i kooperativet få en bättre tillvaro, tack vare Fairtrade-premien som är bundet till att användas för sociala projekt. Vidare anses istället att rostare genom direkt handel med kooperativen kan marknadsföra kaffet i form av en produktdifferentiering till sina kunder som kan öka lönsamheten för odlarna. Om målet är att öka lönsamheten för odlaren bör även faktorer som hanteringen av kaffeodlingen och produktiviteten inkluderas (Weber, 2011). En annan av studie av Vellema med fler (2015) syftar till att ingen ökning i lön kunde ses för certifierade hushåll, eftersom hushållen fördelade till större grad resurserna till kaffeproduktionen och minskade därmed sin involvering i annat jordbruk och arbetskraft till detta. Således ändrades endast sammansättningen (Vellema et al., 2015). En alternativ möjlighet att främja odlares ekonomi och tillvaro för hushållen är via direkt handel mellan odlare och rostare som kan medföra att odlaren får mer betalt för kaffet och en större andel i produktionskedjan än tidigare (Borrella et al., 2015). Dessutom blir produkten differentierad inte bara med kvalité och smak, utan även ursprung, social hållbarhet och miljöhållbarhet (Borrella et al., 2015). Således har konsumenternas efterfrågan på sådana produkter påverka den ekonomiska lönsamheten för kaffeodlare och därmed ges bättre förutsättningar att hantera hot för kaffeodlingarna.



Figur 5. Modellen visar en översikt baserad på litteraturen för de olika behandlingsmetoderna för kaffebladrost (blå textutor) samt dess motsvarande för och nackdelar (gröna = fördelar, röda = nackdelar).

Sammanfattning

Att hantera kaffebladrost är komplext i tider då produktionskostnader ökar (International Coffee Organization, 2016) och risken för epidemier är hög. Med ett högre kaffepris kan hantering av patogenet bli bättre motiverade (Allinne et al., 2016). Behandlingsmetoderna i sin tur bör utvecklas med målet att ha ett hållbart jordbruk och en säker framtid för kaffeodlare. I många år har applicering av bekämpningsmedel varit den huvudsakliga metoden av skälen att det är effektivt i bekämpningen, lätta att förstå och innebär en tydlig kostnad. Men miljön, inte minst i form av ekosystemet riskerar att ta skada (Fig. 5). Biologiska bekämpningsmedel är ett alternativ som kan minska utsläppet av kemikalier och ändå bekämpa patogenet, men kräver att rosten upptäcks i tid (Fig. 5). Av dessa anledningar utvärderades alternativa metoder så som kontroll via resistens och agroekologi vilka båda har fördelen att kemikalieutsläppen begränsas vilket är positivt ur en miljösynpunkt.

Kontroll med resistens visades till en början vara effektivt men efter några år där sorternas resistens gått förlorad efter nya raser av *H. vastatrix* uppkommit anses metoden kräva mer utveckling innan den rekommenderas, eventuellt i form av pyramidisering av resistent gener för att skapa hållbar resistens. Vidare har tillgängligheten på de resistent sorterna varit högst begränsade, främst för småskaliga kaffeodlare i kombination med en hög initial kostnad (Fig. 5). Agroekologisk kontroll har visats vara ett tillvägagångssätt som har potentialen att utöver minskade kemikalieutsläpp, även gynna ekosystemtjänster och förespråkar därmed hållbarhet. Dock har motstridande resultat på olika ställen demonstrerat komplexiteten med metoden och kräver således djup kunskap i ämnet innan lämpliga rekommendationer kan göras. Slutligen krävs kvantifiering av de agroekologiska effekterna och skördeförluster för att metoden ska få mer tyngd. Den här studien demonstrerar komplexiteten och fördelarna så väl som nackdelarna med att hantera kaffebladrosten med de tillgängliga alternativen när ekonomi och miljö inkluderas som variabler (Fig. 5), vilket är av största värde för kaffeodlarna som står inför att hantera sjukdomen. Framtida studier med mer resultat av resistent sorter och dess hållbarhet kan göra att avvägningarna ser annorlunda ut än idag.

Referenser

- International Coffee Organization. 2014. Annual review 2013-14. Hämtad 2017-04-03 från http://www.ico.org/annual_review.asp
- International Coffee Organization. 2016. Annual review 2015-16. Hämtad 2017-04-03 från http://www.ico.org/annual_review.asp
- ALKIMIM, E. R., CAIXETA, E. T., SOUSA, T. V., PEREIRA, A. A., DE OLIVEIRA, A. C. B., ZAMBOLIM, L. & SAKIYAMA, N. S. 2017. Marker-assisted selection provides arabica coffee with genes from other *Coffea* species targeting on multiple resistance to rust and coffee berry disease. *Molecular Breeding*, 37, 10.
- ALLINNE, C., SAVARY, S. & AVELINO, J. 2016. Delicate balance between pest and disease injuries, yield performance, and other ecosystem services in the complex coffee-based systems of Costa Rica. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 222, 1-12.
- AVELINO, J., CRISTANCHO, M., GEORGIU, S., IMBACH, P., AGUILAR, L., BORNEMANN, G., LADERACH, P., ANZUETO, F., HRUSKA, A. J. & MORALES, C. 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Security*, 7, 303-321.
- AVELINO, J., ROMERO-GURDIAN, A., CRUZ-CUELLAR, H. F. & DECLERCK, F. A. J. 2012. Landscape context and scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot nematodes. *Ecological Applications*, 22, 584-596.
- AVELINO, J., WILLOCQUET, L. & SAVARY, S. 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathology*, 53, 541-547.
- AVELINO, J., ZELAYA, H., MERLO, A., PINEDA, A., ORDÓÑEZ, M. & SAVARY, S. 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling*, 197, 431-447.
- BERTRAND, B., GUYOT, B., ANTHONY, F. & LASHERMES, P. 2003. Impact of the *coffea canephora* gene introgression on beverage quality of *C-arabica*. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 387-394.
- BEUCHELT, T. D. & ZELLER, M. 2011. Profits and poverty: Certification's troubled link for Nicaragua's organic and fairtrade coffee producers. *Ecological Economics*, 70, 1316-1324.

- BORRELLA, I., MATAIX, C. & CARRASCO-GALLEGO, R. 2015. Smallholder Farmers in the Speciality Coffee Industry: Opportunities, Constraints and the Businesses that are Making it Possible. *Ids Bulletin-Institute of Development Studies*, 46, 29-44.
- BOUDROT, A., MERLE, I., AVELINO, J., PICO, J., VÍLCHEZ, S., TIXIER, P., DE MELO VIRGINIO FILHO, E., CASANOVES, F., ALLINNE, C., GRANADOS, E., TAPIA, A. & RICE, R. A. 2016. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores. *Phytopathology*, 106, 527-580.
- BRYMAN, A. 2008. *Social research methods*, Oxford : Oxford University Press, 2008
3. ed.
- CABRAL, P. G. C., MACIEL-ZAMBOLIM, E., OLIVEIRA, S. A. S., CAIXETA, E. T. & ZAMBOLIM, L. 2016. Genetic diversity and structure of *Hemileia vastatrix* populations on *Coffea* spp. *Plant Pathology*, 65, 196-204.
- CARVALHO, C. R., FERNANDES, R. C., CARVALHO, G. M. A., BARRETO, R. W. & EVANS, H. C. 2011. Cryptosexuality and the Genetic Diversity Paradox in Coffee Rust, *Hemileia vastatrix*. *Plos One*, 6, 7.
- CERDA, R., ALLINNE, C., GARY, C., TIXIER, P., HARVEY, C. A., KROLCZYK, L., MATHIOT, C., CLÉMENT, E., AUBERTOT, J.-N. & AVELINO, J. 2017. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *European Journal of Agronomy*, 82, Part B, 308-319.
- DE BRITO, G. G., CAIXETA, E. T., GALLINA, A. P., ZAMBOLIM, E. M., ZAMBOLIM, L., DIOLA, V. & LOUREIRO, M. E. 2010. Inheritance of coffee leaf rust resistance and identification of AFLP markers linked to the resistance gene. *Euphytica*, 173, 255-264.
- DE SOUZA, A. F., ZAMBOLIM, L., DE JESUS, V. C. & CECON, P. R. 2011. Chemical approaches to manage coffee leaf rust in drip irrigated trees. *Australasian Plant Pathology*, 40, 293-300.
- DEL GROSSI, L., SERA, T., SERA, G. H., FONSECA, I. C. D., ITO, D. S., SHIGUEOKA, L. H., ANDREAZI, E. & CARVALHO, F. G. 2013. Rust Resistance in Arabic Coffee Cultivars in Northern Parana. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 56, 27-33.
- DIOLA, V., BRITO, G. G., CAIXETA, E. T., PEREIRA, L. F. P. & LOUREIRO, M. E. 2013. A new set of differentially expressed signaling genes is early expressed in coffee leaf rust race II incompatible interaction. *Functional & Integrative Genomics*, 13, 379-389.
- DIOLA, V., DE BRITO, G. G., CAIXETA, E. T., MACIEL-ZAMBOLIM, E., SAKIYAMA, N. S. & LOUREIRO, M. E. 2011. High-density genetic mapping for coffee leaf rust resistance. *Tree Genetics & Genomes*, 7, 1199-1208.
- GALVAO, J. A. H. & BETTIOL, W. 2014. Effects of UV-B radiation on *Lecanicillium* spp., biological control agents of the coffee leaf rust pathogen. *Tropical Plant Pathology*, 39, 392-400.
- GARCIA-BARRIOS, L., PERFECTO, I. & VANDERMEER, J. 2016. Azteca chess: Gamifying a complex ecological process of autonomous pest control in shade coffee. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 232, 190-198.
- GUERRA-GUIMARAES, L., TENENTE, R., PINHEIRO, C., CHAVES, I., SILVA, M. D., CARDOSO, F. M. H., PLANCHON, S., BARROS, D. R., RENAUT, J. &

- RICARDO, C. P. 2015. Proteomic analysis of apoplastic fluid of *Coffea arabica* leaves highlights novel biomarkers for resistance against *Hemileia vastatrix*. *Frontiers in Plant Science*, 6.
- HADDAD, F., MAFFIA, L. A., MIZUBUTI, E. S. G. & TEIXEIRA, H. 2009. Biological control of coffee rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil. *Biological Control*, 49, 114-119.
- HADDAD, F., SARAIVA, R. M., MIZUBUTI, E. S. G., ROMEIRO, R. S. & MAFFIA, L. A. 2013. Antifungal compounds as a mechanism to control *Hemileia vastatrix* by antagonistic bacteria. *Tropical Plant Pathology*, 38, 398-405.
- HAJIAN-FOROOSHANI, Z., SALINAS, I. S. R., JIMENEZ-SOTO, E., PERFECTO, I. & VANDERMEER, J. 2016. Impact of Regionally Distinct Agroecosystem Communities on the Potential for Autonomous Control of the Coffee Leaf Rust. *Environmental Entomology*, 45, 1521-1526.
- HONORATO, J., ZAMBOLIM, L., LOPES, U. D., LOPES, U. P. & DUARTE, H. D. S. 2015. DMI and QoI fungicides for the control of coffee leaf rust. *Australasian Plant Pathology*, 44, 575-581.
- JACKSON, D., SKILLMAN, J. & VANDERMEER, J. 2012a. Indirect biological control of the coffee leaf rust, *Hemileia vastatrix*, by the entomogenous fungus *Lecanicillium lecanii* in a complex coffee agroecosystem. *Biological Control*, 61, 89-97.
- JACKSON, D., ZEMENICK, K. & HUERTA, G. 2012b. Occurrence in the soil and dispersal of *Lecanicillium lecanii*, a fungal pathogen of the green coffee scale (*Coccus viridis*) and coffee rust (*Hemileia vastatrix*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15, 389-401.
- JAMES, T. Y., MARINO, J. A., PERFECTO, I. & VANDERMEER, J. 2016. Identification of Putative Coffee Rust Mycoparasites via Single-Molecule DNA Sequencing of Infected Pustules. *Applied and Environmental Microbiology*, 82, 631-639.
- LOPES, U. P., ZAMBOLIM, L., SOUZA NETO, P. N., DUARTE, H. S. S., RIBEIRO, J. I., SOUZA, A. F. & RODRIGUES, F. A. 2014. Silicon and Triadimenol for the Management of Coffee Leaf Rust. *Journal of Phytopathology*, 162, 124-128.
- LÓPEZ-BRAVO, D. F., VIRGINIO-FILHO, E. D. M. & AVELINO, J. 2012. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. *Crop Protection*, 38, 21-29.
- MAIA, T. A., MACIEL-ZAMBOLIM, E., CAIXETA, E. T., MIZUBUTI, E. S. G. & ZAMBOLIM, L. 2013. The population structure of *Hemileia vastatrix* in Brazil inferred from AFLP. *Australasian Plant Pathology*, 42, 533-542.
- MCCOOK, S. & VANDERMEER, J. 2015. The Big Rust and the Red Queen: Long-Term Perspectives on Coffee Rust Research. *Phytopathology*, 105, 1164-1173.
- PATRICIO, F. R. A., ALMEIDA, I. M. G., BARROS, B. C., SANTOS, A. S. & FRARE, P. M. 2008. Effectiveness of acibenzolar-S-methyl, fungicides and antibiotics for the control of brown eye spot, bacterial blight, brown leaf spot and coffee rust in coffee. *Annals of Applied Biology*, 152, 29-39.
- PESTANA, K. N., CAPUCHO, A. S., CAIXETA, E. T., DE ALMEIDA, D. P., ZAMBOLIM, E. M., CRUZ, C. D., ZAMBOLIM, L., PEREIRA, A. A., DE OLIVEIRA, A. C. B. & SAKIYAMA, N. S. 2015. Inheritance study and linkage

- mapping of resistance loci to *Hemileia vastatrix* in Híbrido de Timor UFV 443-03. *Tree Genetics & Genomes*, 11.
- PRAKASH, N. S., MARQUES, D. V., VARZEA, V. M. P., SILVA, M. C., COMBES, M. C. & LASHERMES, P. 2004. Introgression molecular analysis of a leaf rust resistance gene from *Coffea liberica* into *C. arabica* L. *Theoretical and Applied Genetics*, 109, 1311-1317.
- PRAKASH, N. S., MUNISWAMY, B., HANUMANTHA, B. T., SREENATH, H. L., SUNDARESHA, KUMAR, D., SURESH, N., SANTHOSH, P., SOUMYA, P. R., BHAT, A. M., BHAT, S. S. & JAYARAMA 2011. Marker assisted selection and breeding for leaf rust resistance in coffee (*Coffea arabica* L.) - some recent leads. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 71, 185-189.
- SERA, G. H., SERA, T., ITO, D. S., DE AZEVEDO, J. A., DA MATA, J. S. & DOI, D. S. 2007. Resistance to leaf rust in coffee carrying S(H)3 gene and others S-H genes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50, 753-757.
- SHIOMI, H. F., SILVA, H. S. A., DE MELO, I. S., NUNES, F. V. & BETTIOL, W. 2006. Bioprospecting endophytic bacteria for biological control of coffee leaf rust. *Scientia Agricola*, 63, 32-39.
- SILVA, H. S. A., TOZZI, J. P. L., TERRASAN, C. R. F. & BETTIOL, W. 2012. Endophytic microorganisms from coffee tissues as plant growth promoters and biocontrol agents of coffee leaf rust. *Biological Control*, 63, 62-67.
- SOTO-PINTO, L., PERFECTO, I. & CABALLERO-NIETO, J. 2002. Shade over coffee: Its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 55, 37-45.
- STAVER, C., GUHARAY, F., MONTERROSO, D. & MUSCHLER, R. G. 2001. Designing pest-suppressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*, 53, 151-170.
- VAN DER VOSSSEN, H., BERTRAND, B. & CHARRIER, A. 2015. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. *Euphytica*, 204, 243-256.
- VAN DER VOSSSEN, H. A. M. 2009. THE CUP QUALITY OF DISEASE-RESISTANT CULTIVARS OF ARABICA COFFEE (*Coffea arabica*). *Experimental Agriculture*, 45, 323-332.
- VAN DER VOSSSEN, H. A. M. & WALYARO, D. J. 2009. Additional evidence for oligogenic inheritance of durable host resistance to coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae*) in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Euphytica*, 165, 105-111.
- VANDERMEER, J., JACKSON, D. & PERFECTO, I. 2014. Qualitative Dynamics of the Coffee Rust Epidemic: Educating Intuition with Theoretical Ecology. *Bioscience*, 64, 210-218.
- VANDERMEER, J. & PERFECTO, I. 2007. 19 - The Diverse Faces of Ecosystem Engineers in Agroecosystems. In: KIM CUDDINGTON, J. E. B. W. G. W. & ALAN, H. (eds.) *Theoretical Ecology Series*. Academic Press.
- VANDERMEER, J., PERFECTO, I. & PHILPOTT, S. 2010. Ecological Complexity and Pest Control in Organic Coffee Production: Uncovering an Autonomous Ecosystem Service. *Bioscience*, 60, 527-537.

- VANDERMEER, J., ROHANI, P. & PERFECTO, I. 2015. Local dynamics of the coffee rust disease and the potential effect of shade.
- WEBER, J. G. 2011. How much more do growers receive for Fair Trade-organic coffee? *Food Policy*, 36, 678-685.
- VELLEMA, W., BURITICA CASANOVA, A., GONZALEZ, C. & D'HAESE, M. 2015. The effect of specialty coffee certification on household livelihood strategies and specialisation. *Food Policy*, 57, 13-25.
- ZAMBOLIM, L. 2016. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41, 1-8.



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund