



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL  
DE PERNAMBUCO**  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM FITOPATOLOGIA**

**Dissertação de Mestrado**

**Árvore de decisão aplicada à análise de risco da  
severidade da ferrugem do cafeeiro na Guatemala**

**Gabriela del Carmen Calderón Estrada**

**Recife – PE  
Dezembro - 2015**

**GABRIELA DEL CARMEN CALDERÓN ESTRADA**

**ÁRVORE DE DECISÃO APLICADA À ANÁLISE DE  
RISCO DA SEVERIDADE DA FERRUGEM DO  
CAFEEIRO NA GUATEMALA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Fitopatologia.

**COMITÊ DE ORIENTAÇÃO:**

Prof. Dr. Sami Jorge Michereff (UFRPE) – Orientador

Prof. Dr. Gustavo Mora-Aguilera (CP) – Coorientador

Dr. Francisco Anzueto Rodríguez (ANACAFÉ) – Coorientador

**RECIFE – PE  
DEZEMBRO – 2015**

Ficha Catalográfica

E82a Estrada, Gabriela del Carmen Calderón  
Árvore de decisão aplicada à análise de risco da severidade  
da ferrugem do cafeeiro na Guatemala / Gabriela del Carmen  
Calderón Estrada. – Recife, 2015.  
92 f.: il.

Orientador(a): Sami Jorge Michereff.  
Dissertação (Programa de Pós-graduação em Fitopatologia)  
– Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento  
de Fitosanidade, Recife, 2015.  
Inclui apêndice(s) e referências.

1. Algoritmo CHAID 2. *Coffea arabica* 3. Epidemiologia  
4. *Hemileia vastatrix* 5. Modelagem de doenças de plantas  
I. Michereff, Sami Jorge, orientador II. Título

CDD 632

**ÁRVORE DE DECISÃO APLICADA À ANÁLISE DE  
RISCO DA SEVERIDADE DA FERRUGEM DO  
CAFEIRO NA GUATEMALA**

**GABRIELA DEL CARMEN CALDERÓN ESTRADA**

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em: 11/12/2015.

**ORIENTADOR:**



---

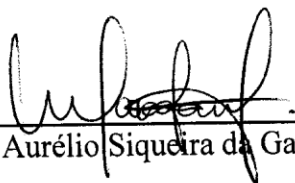
Prof. Dr. Sami Jorge Michereff (UFRPE)

**EXAMINADORES:**



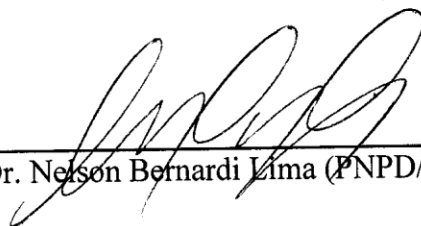
---

Prof. Dr. Emerson Medeiros Del Ponte (UFV)



---

Prof. Dr. Marco Aurélio Siqueira da Gama (UFRPE)



---

Dr. Nelson Bernardi Lima (FNP/UFPE)

**RECIFE – PE  
DEZEMBRO – 2015**

*A José Benjamín, amor da minha vida,*

*E aos meus pais, com muito carinho*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, ser supremo que me guiou, me deu força e sabedoria para alcançar meu objetivo.

Aos meus pais, Irene e Juan, por seu amor incondicional, conselhos e apoio, vocês são meu exemplo de amor, determinação, fidelidade, lealdade e tudo que seja bom na vida.

Aos meus irmãos, Oscar e Isabel, pelo carinho e apoio incondicional.

A meu sobrinho, José Benjamín, teu sorriso é luz e força para mim, te amo muito.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sami Jorge Michereff, pela grata amizade, apoio e orientação oferecida na realização do curso e na execução deste trabalho.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Gustavo Mora Aguilera, pela ajuda e amizade, e Dr. Francisco Anzueto, pela grata amizade, bons conselhos, apoio e o grande carinho.

Ao Prof. Dr. Jaques Avelino, por compartilhar tantos conhecimentos comigo, e por sua grata amizade, sua ajuda para desenvolver este trabalho foi muito importante.

À equipe de validação do Centro de Investigaciones del Café - ANACAFÉ, pelo apoio nestes anos de trabalho. Em especial ao Eng. Agr. Mario Chocooj pelo apoio e amizade.

Aos meus amigos e colegas Mayumi Inokuti, Cinthia Conforto e Nelson Lima, pelos bons momentos, as muitas risadas e o grande apoio dentro e fora do curso.

Aos meus amigos da Guatemala pelo apoio, em especial a Ana Lucia López, e Renatto Figueroa pela grata amizade e o grande carinho de vocês.

A meus colegas do Programa em Pós-Graduação, em especial aos do Laboratório de Epidemiologia de Doenças de Plantas, pelos bons momentos compartilhados.

Aos professores do Programa pela grata convivência e por seus ensinamentos.

À Asociación Nacional del Café de Guatemala, pela concessão do apoio financeiro.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Finalmente, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta conquista.

## SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS .....	vi
RESUMO GERAL .....	viii
GENERAL ABSTRACT .....	ix
CAPÍTULO I – Introdução Geral .....	11
Referências Bibliográficas .....	35
CAPÍTULO II – Decision tree applied for risk analysis of coffee rust severity in	
Guatemala .....	48
Abstract .....	49
Introduction .....	50
Materials and methods .....	52
Results .....	58
Discussion .....	61
Acknowledgments .....	70
References .....	70
CONCLUSÕES GERAIS .....	92

## RESUMO GERAL

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk & Br., é a principal doença do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na América Latina. O principal dano é desfolha e morte de ramos laterais, que provocam perdas prematuras de frutos. A Guatemala produz café em 270.000 hectares, sendo que cerca de 82% é cultivado com variedades suscetíveis às raças de ferrugem. A epidemia da ferrugem é um processo complexo baseado nas relações entre ambiente, crescimento da planta, e práticas de manejo. O objetivo deste estudo foi desenvolver modelos para análise de risco baseados em árvores de decisão, a fim de entender como os padrões de cultivo determinam o progresso da doença na Guatemala para identificar e priorizar os fatores importantes. Para este trabalho foram utilizadas 1215 observações, obtidas de 35 lavouras de abril de 2013 a dezembro de 2014. A variável modelada foi a severidade da folha. Utilizando o algoritmo CHAID (Chi-Quadrado Detecção Automatic Interaction), foram desenvolvidas duas árvores de decisão. A primeira árvore permite prever a severidade na folha nas parcelas em que o produtor não realiza acompanhamento da doença, enquanto a segunda requer o monitoramento da ferrugem 28 dias antes da data da análise de risco da severidade. Nas árvores, o principal preditor foi o número de aplicações de fungicida por ano. As seguintes variáveis preditoras na árvore foram relacionadas com disponibilidade de tecido para novas infecções, que podem favorecer a formação de microambientes com alta umidade relativa, temperaturas amenas e prevalência da molhadura folhar. Apenas para a árvore de não monitoramento foi incluída a variável da precipitação média, o que sugere que a relação do clima é em nível microclimático. A árvore com monitoramento inclui em todos os níveis a severidade aos 28 dias antes e substitui variáveis de manejo ou clima, estimando valores semelhantes. A acurácia da árvore para lavouras não monitoradas foi de 65,85% com uma estimativa de acurácia por validação cruzada de 73,34%. Na árvore para lavouras monitoradas a acurácia foi de 62,53% e 68,54%, respectivamente. Os modelos de análise de risco demonstram ser ferramentas de apoio na tomada de decisões de manejo para implementar o controle da ferrugem do cafeeiro e possibilitam listar, em ordem de importância, as práticas de manejo e fatores climáticos que influenciam na severidade da doença em diferentes padrões de cultivo.

**Palavras-chave:** algoritmo CHAID, *Coffea arabica*, epidemiologia, *Hemileia vastatrix*, modelagem de doenças de plantas.



## GENERAL ABSTRACT

The rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix* Berk & Br., is the main disease of coffee (*Coffea arabica* L.) in Latin America. The principal damage caused is defoliation and death of lateral branches, which causes premature fruit losses. Guatemala produces coffee in 270,000 hectares, and near of the 82% is cultivated with susceptible varieties to coffee rust races. Coffee rust epidemic is a complex process based on the relationships between the environment, plant growth, and crop practices. The objective of this study was to develop models for risk analysis based on decision trees in order to understand how cropping patterns determine the progress of the disease in Guatemala to identify and prioritize the important factors. For this work were used 1215 observations, obtained in 35 coffee plots from April 2013 to December 2014. The modeled variable was the leaf severity. Using the CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detection) algorithm were developed two decision trees. The first predicts leaf severity in plots where the producer does not follow the disease, while the second requires rust monitoring 28 days before the date of the severity risk analysis. In the trees, the main predictor was the fungicide spraying per year. The following predictor variables on the tree were related with the tissue availability for new infections, which also stimulates microenvironments with high relative humidity, warm temperatures, and foliar wetness prevalence. Only for non-monitoring tree was included the average rainfall, which suggests that climate relationship with the epidemic, is at microclimate level. The tree for plots with disease monitoring includes in all levels the 28 before severity and replaced management or climate variables getting similar predicted values. The accuracy of the tree for monitored plots was 65.85% with an estimated accuracy by cross validation of 73.34%, and for the monitored plots, the accuracy was 62.53% and 68.54%, respectively. Risk analysis models prove to be tools of support in making management decisions to implement the control of coffee rust and allow list in order of importance, management practices, and climatic factors that influence disease severity in different crop patterns.

**Keywords:** CHAID algorithm, *Coffea arabica*, epidemiology, *Hemileia vastatrix*, plant disease modeling.

# Capítulo I

---

## Introdução Geral

# ÁRVORE DE DECISÃO APLICADA À ANÁLISE DE RISCO DA SEVERIDADE DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO NA GUATEMALA

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Classificação botânica, origem e importância do café

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, no qual se encontram descritas mais de 90 espécies. No entanto, a produção comercial de café atualmente se baseia nas espécies *Coffea arabica* L. (60%) e *Coffea canephora* Pierre e Frohner (40%) (ANTHONY et al., 2002; SOUZA et al., 2004; GARCIA et al., 2015).

O cafeeiro tem centro de origem e diversidade na Etiópia, antiga Abissínia, e atualmente é cultivada na América, África e Ásia (AYANO et al., 2014). Acredita-se que o cultivo teve início no Iêmen, antes do século XV, do qual duas bases genéticas foram propagadas e deram origem à maior parte das variedades de *C. arabica* L. comerciais no mundo. Foram descritas como duas variedades botânicas distintas: *C. arabica* L. var. *arabica* ou *typica* e *C. arabica* L. var. *bourbon* (ANTHONY et al., 2002; CARVALHO, 2008).

Os dados históricos indicam que a base genética da variedade *typica* foi originada a partir de uma única planta oriunda da Indonésia, que foi posteriormente cultivada no Jardim Botânico de Amsterdã, no início do século XVII, enquanto a base genética da variedade *bourbon* foi originada a partir de árvores introduzidas de Mocha (Iêmen) para a Ilha Bourbon (Ilha Reunião) entre 1715-1718 (ANTHONY et al., 2002; PEREIRA et al., 2010).

A cultura do cafeeiro foi introduzida na América pelos holandeses, por intermédio da colônia do Suriname, em 1718 (CARVALHO, 2008; PEREIRA et al., 2010). Na Guatemala, padres Jesuítas em 1747, trouxeram algumas sementes das Antilhas, as quais foram cultivadas como plantas ornamentais nos jardins do convento da Companhia de Jesús na Antigua Guatemala. No início do século XIX as plantas desses jardins foram fonte de sementes para novas lavouras em diferentes regiões do país, onde a planta mostrou boa adaptação (WAGNER, 2001).

A atividade comercial do cafeeiro na Guatemala iniciou-se em 1862, quando a Real Sociedade Econômica entregou plantas em diferentes regiões do país, principalmente na costa, no litoral do Pacífico desde o estado de Santa Rosa até San Marcos e no estado de Alta Verapaz (WAGNER, 2001). A primeira exportação de café na Guatemala ocorreu em 1853, e desse então a cultura e as exportações aumentaram com rapidez no país a cada ano. A partir

de 1863 a produção de café assumiu o segundo lugar nas exportações e, a partir de 1870 é o principal gerador de divisas e emprego no país (WAGNER, 2001; ANACAFÉ, 2014).

Na Guatemala, a agricultura constitui a principal fonte de trabalho e atividade econômica. Contribuí com 14% do produto interno bruto (PIB) anual e gera 34% dos empregos da população economicamente ativa (PEA), enquanto 45% das exportações são de produtos como café, carne, açúcar e banana (BANGUAT, 2014; INE, 2014; LINARES et al., 2012).

O agronegócio do café é uma das atividades mais importantes nos aspectos social e econômico no mundo e na agricultura guatemalteca se destaca pela geração de receita, emprego, manutenção de famílias e distribuição de renda, em todas as partes da cadeia produtiva, incluindo cultivo, processamento, comercialização, transporte e exportação (LINARES et al., 2012).

Na última década, Guatemala participou aproximadamente com 3,9% das exportações mundiais, tornando-se o 11º produtor e 7º exportador mundial, tendo como principais destinos, América do Norte (53%), Europa (27%), e Ásia (16%) (ANACAFÉ, 2014; ICO, 2015).

A América Latina é a maior produtora de café arábica no mundo. A Guatemala é o quarto produtor latino-americano de café arábica e o segundo centro-americano, com uma produção de 4,1 milhões de sacas, classificado dentro do grupo de “outros suaves”, os quais são considerados de alta qualidade (FONTAGRO, 2013; ICO, 2014).

O café representa 7% do valor Free on Board (FOB) das exportações da Guatemala (BANGUAT, 2015), sendo o terceiro produto de exportação, depois do açúcar e de artigos de vestuário (LINARES et al., 2012).

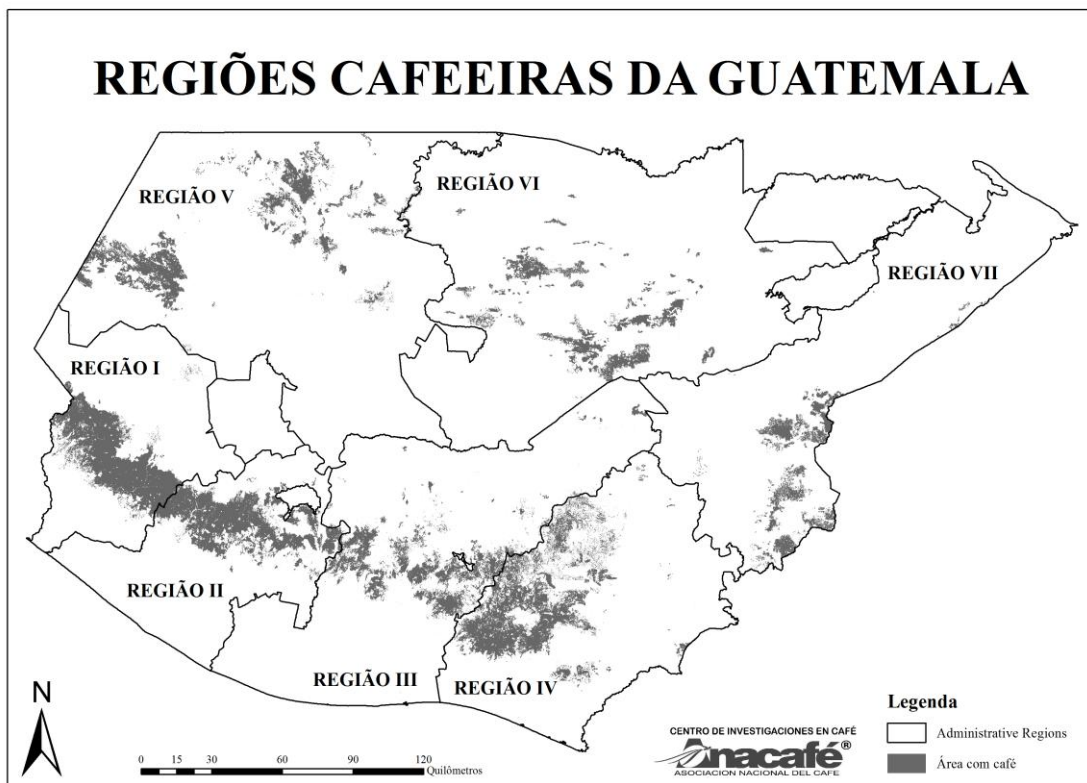
A cafeicultura beneficia 1,7 milhões de pessoas, o que representa 3% do PIB e 7% dos empregos da PEA (ABG, 2014; BANGUAT, 2014). A superfície cultivada com café é de 276.000 hectares, distribuídos em 204 municípios, sendo que a maior parte da produção se encontra no Sul e Sudeste do país (ANACAFÉ, 2014; COOPERAZIONE INTERNAZIONALE, 2014). A atividade é realizada por 90.000 produtores, os quais estão estratificados em três grupos, 90% pequenos e 10% médios e grandes, e participam no total da produção, com 45% pequenos, 47% médios e 8% grandes (ANZUETO, 2013; MAGA, 2013).

O parque cafeeiro nacional ocupa 60% dos municípios em 2,5% da superfície da Guatemala. A maior parte da produção encontra-se no litoral do Pacífico, onde as condições de topografia e solos de origem vulcânica são favoráveis para a produção (COOPERAZIONE INTERNAZIONALE, 2014). O parque cafeeiro encontra-se dividido em sete regiões

administrativas (figura, 1). Nas regiões IV e III, se concentra a maior porcentagem da produção e nas regiões I, II e V os principais tipos de café de altitude.

A zona de produção está distribuída nas altitudes dos 700 a 1.800 m. Nas altitudes acima de 1.200 m encontra-se a maioria da produção de café duro (Hard Bean-HB) e estritamente duro (Striclty Hard Bean- SHB), os quais são altamente desejados no mundo pela acidez, corpo, sabor e aroma (ANACAFÉ, 2014).

A principal espécie de café produzida na Guatemala é arábica, com 98% dos agroecossistemas com sombreamento. Cerca de 60% das plantas do parque cafeeiro têm idade entre 15 a 25 anos, com sistemas de manejo que incluem diversas práticas culturais e tratamentos químicos para controle de plantas invasoras, doenças e pragas.



**Figura 1.** Regiões administrativas e área de produção de café da Guatemala (adaptado de ANACAFÉ, 2014)

## 2. Morfología e requerimientos edafoclimáticos do cafeeiro

O cafeeiro arábica é uma planta tropical de altitude, adaptada ao clima úmido com temperaturas amenas e, normalmente é afetado nos seus estádios fenológicas pelas condições meteorológicas, especificamente pela distribuição pluviométrica, temperatura do ar e variação

fotoperiódica, interferindo, desse modo, na produtividade e qualidade da bebida (BATISTA, 2010).

Regiões com temperatura média entre 18-22°C, índice pluviométrico anual entre 1.200-1.800 mm, e distribuição regular de chuvas, são consideradas favoráveis ao cultivo. A planta suporta até 150 mm de deficiência hídrica anual, principalmente quando ocorre nos períodos de dormência, antes da floração e início da frutificação (THOMAZIELLO et al., 2000).

Em decorrência da variação sazonal, não é possível estabelecer um nível ótimo de precipitação para o cafeeiro, pois o atendimento das exigências hídricas da planta depende da distribuição anual das chuvas, condições de energia térmica durante as estações e, conseqüentemente, o ritmo anual da evapotranspiração potencial (ALFONSI, 2000).

A parte aérea do cafeeiro se desenvolve em uma única haste ortotrópica (crescimento vertical), a partir da retomada do desenvolvimento do eixo embrionário, durante a germinação, até que a muda atinja de oito a dez pares de folhas (CARVALHO, 2008).

As gemas localizadas nas axilas foliares, geralmente de cinco a seis, são denominadas de seriadas e a primeira gema do conjunto é a cabeça da série. A presença de gemas seriadas confere ao café a capacidade de formação de novas brotações laterais (plagiotrópicas).

As gemas seriadas localizadas nos internódios dos ramos laterais nas axilas das folhas originarão ramos ou frutos, enquanto as gemas cabeça de série originarão apenas ramos plagiotrópicos secundários, o que influenciará diretamente o potencial produtivo da planta. Portanto, maior número de ramos plagiotrópicos, associado ao maior diâmetro de copa, contribuirá para maior produção dessas plantas (RENA; MAESTRI, 1986).

Existe somente uma gema cabeça-de-série na axila de cada folha presente no nó ao longo da haste principal e, a partir de cada nó, existe apenas um par de ramos plagiotrópicos. As ramificações primárias se desenvolvem na axila das folhas, presentes a partir do oitavo ou décimo nó. As ramificações primárias possuem gemas com capacidade de formar ramificações secundárias, ramos secundários ou botões florais, a depender do estímulo ambiental (ALVES, 2008).

As folhas em plantas adultas estão presentes somente nos ramos plagiotrópicos, no mesmo plano e em posições opostas. A lâmina foliar de 12 a 24 cm é delgada e ondulada de forma elíptica, apresentando pequenas variações entre variedades, possui uma ou mais camadas de células epidérmicas, especializadas na absorção de luz.

A cor das folhas jovens é variável entre espécies e variedades. A epiderme é revestida por uma cutícula formada por cutina, ceras e pectinas que reduz a perda espontânea de água e

protege contra danos mecânicos. Apresenta grande diversidade anatômica e morfológica e, por estar em contato direto com o ambiente, está sujeita a modificações estruturais, em decorrência de vários fatores ambientais (ADÃO, 2002; LIVRAMENTO, 2010).

A folha contém diferentes tipos de células e elementos, tais como estômatos, parênquima paliádico e lacunoso, tricomas entre outros. A transpiração estomática é responsável por mais de 90% da água transpirada. As alterações nas relações hídricas no cafeeiro são importantes, pois mesmo pequenas modificações podem reduzir intensamente o crescimento, pode ocorrer murcha de folhas, entre nós curtos ou outros sinais de estresse. Portanto, fatores ambientais influenciam diretamente a anatomia foliar, sendo importante pela relação direta com a produção vegetal (SILVA et al., 2008).

A anatomia foliar demonstra plasticidade para fatores como as condições de radiação alterando as espessuras do parênquima paliádico e esponjoso, dimensões estomáticas, entre outras (RAMIRO et al., 2004; PINHEIRO et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2006). A exigência hídrica do cafeeiro varia de acordo com as fases fenológicas da planta e, no período de vegetação e frutificação, precisa de umidade disponível no solo.

Alta produtividade está condicionada com uma boa distribuição de chuvas no período de indução e desenvolvimento dos botões florais, à pequena deficiência hídrica no período de repouso e à ocorrência de períodos chuvosos no início da floração para ter temperaturas amenas, favoráveis ao pegamento das flores (MATIELLO et al., 2005).

Sabe-se que os extremos de temperatura do ar influenciam o crescimento, os processos fisiológicos e a produtividade do cafeeiro. Em regiões com temperaturas médias acima de 30°C ocorrem danos às folhagens e, na fase de florescimento, essas condições podem provocar abortamento de botões florais. Temperaturas médias anuais acima de 23°C promovem rápido desenvolvimento e maturação dos frutos, acarretando perdas na qualidade, e temperaturas inferiores aos 15°C o cultivo é inviabilizado, pois o cafeeiro não tolera baixas temperaturas (CAMAGRO, 1985; LIVRAMENTO, 2010).

Em cafezais sob condição de sombreamento ocorre decréscimo na transpiração, ou seja, os estômatos podem permanecer abertos maior quantidade de tempo, permitindo maior entrada de CO<sub>2</sub> para fotossíntese, contribuindo para uma maior eficiência no uso de água pelas plantas, resultando em maior longevidade e estabilização da produção interanual (DAMATTA; RENA, 2002).

Em plantas sob deficiência hídrica moderada o crescimento das raízes é menos inibido do que o crescimento dos ramos. Consequentemente, os cafeeiros com sistema radicular mais profundo resistem satisfatoriamente a períodos de estiagem prolongados (ALVES, 2008).

A fase de crescimento vegetativo do cafeeiro caracteriza-se pelo desenvolvimento das gemas terminais, gemas florais, folhas, entrenós, frutos e abertura das flores. Na fase de repouso ocorre a maturação reprodutiva dos ramos para a próxima safra, maturação dos frutos e a formação das gemas florais (CARVALHO et al., 2008).

O clima chuvoso durante a frutificação e a maturação do fruto, seguido de uma estação relativamente seca no período de colheita, favorece significativamente a formação de flores e a produção do cafeeiro. O fruto do cafeeiro é uma drupa elipsoide contendo dois lócus e duas sementes. Após a fecundação, inicia-se a formação dos frutos e eles se expandem rapidamente, até atingir o tamanho máximo. Após esta fase inicia-se a granação dos frutos, seguido inicia-se a maturação do fruto, evoluindo até a fase de cereja (CARVALHO, 2008).

A disponibilidade hídrica é importante na fase de expansão rápida do fruto, que pode ser limitada pelo déficit hídrico, pois limita o tamanho final do fruto e afeta a formação da semente o que compromete a produção. Sobrecarga de frutos provoca seca dos ramos e morte das raízes e, caso seja associado a temperaturas altas e déficit hídrico acentuado, causa depauperamento nas plantas, exigindo anos consecutivos de recuperação (RENA; CARVALHO, 2003; LIVRAMENTO, 2010).

Na fase de colheita, a necessidade de água é pequena e o solo pode ficar mais seco, sem oferecer grandes prejuízos para a planta. Uma deficiência hídrica nesse período estimula o abotoamento do cafeeiro e conduz a uma florada mais uniforme no reinício das chuvas (MATIELLO et al., 2005).

Na Guatemala, o cafeeiro apresenta de forma geral o florescimento nos meses de janeiro a maio, a frutificação nos meses de abril a junho, a maturação ocorre nos meses de junho a outubro e a colheita, acontece nos meses de agosto até abril do seguinte ano, as fases podem variar de acordo com a altitude na qual é produzido o cafeeiro segundo as condições ambientais (LIVRAMENTO, 2010; ANACAFÉ, 2014).

A troca de substâncias entre plantas, microrganismos e partículas inorgânicas do solo ocorre na superfície das raízes. O cafeeiro apresenta um sistema radicular com um eixo principal (raiz pivotante), que pode engrossar devido à atividade cambial secundária. A raiz pode se aprofundar no solo até 50 cm, e a partir dessa surgem raízes laterais que formam um extenso sistema radicular (ALVES, 2008; ANACAFE, 2014).

A conformação do sistema radicular é fundamental para a absorção de água, íons do solo, e fixação da planta no substrato, pode depender da espécie, fisiologia da parte aérea, ataque de pragas e doenças, espaçamento, podas, condições físicas, químicas ou biológicas do solo e umidade (ANACAFÉ, 2014; LIVRAMENTO, 2010).



Cerca de 80% das raízes secundárias são responsáveis pela absorção de água e nutrientes minerais e se encontram principalmente nos primeiros 30 cm de profundidade. O funcionamento e o crescimento somente ocorrem quando há uma disponibilidade hídrica no solo que permita a turgência das células da raiz (KRAMER; BOYER, 1995). As raízes secundárias são ramificações da raiz principal e podem ser classificadas, como axiais ou laterais de superfície, chegando a atingir o tamanho da projeção da copa (LIVRAMENTO, 2010).

A raiz também armazena reservas em forma de amido e açúcares solúveis que podem ajudar na formação de novas raízes secundárias. Entre as raízes e a parte aérea da planta existe uma interação nutricional, pois as raízes dependem das folhas para obter produtos nutricionais derivados da fotossíntese e de hormônios para seu crescimento e desenvolvimento. Enquanto que os órgãos aéreos dependem das raízes para obter água, alguns aminoácidos e os elementos minerais contidos no solo (ANACAFE, 2014; BELAN et al., 2014).

### **3. Doenças do cafeeiro**

A porcentagem de participação do café como produto de exportação da Guatemala depende dos preços no mercado internacional e das flutuações da produção nacional. As reduções na produção podem ser causadas por diferentes fatores como bienalidade, estresse ou pelo aumento de doenças e pragas (SIB, 2011; BANGUAT, 2014; AVELINO et al., 2015).

O cafeeiro é afetado por diversas doenças que podem diminuir a produção. A qualidade do café é dependente, além de outros fatores, da forma pela qual é cultivado, colhido e processado no campo (CUNHA, 2010). Na fase pré-colheita, os cafeeiros estão sujeitos à incidência de várias doenças. A ocorrência e os prejuízos que essas doenças podem causar são geralmente refletidos na qualidade do café.

A intensidade das doenças está associada ao ambiente, patógeno, hospedeiro e manejo da cultura. Umidade relativa, temperatura, chuvas, luminosidade e molhamento foliar são os principais fatores do ambiente que podem influenciar na presença e no aumento da severidade das doenças do cafeeiro (CUNHA, 2010; CARVALHO et al., 2010; CALDERÓN, 2012).

As principais doenças foliares do cafeeiro na Guatemala são ferrugem (*Hemelia vastatrix* Berk e Br.), cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk e Cooke), antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.), mancha americana (*Mycena citricolor* Berk e M.A. Curtis), mancha de phoma (*Phoma costarricensis* Echandi), queima do fio (*Pellicularia*

*koleroga* Donk) e mal rosado (*Corticium salmonicolor* Berk. e Br.) (CALDERÓN, 2012; ANACAFE, 2014).

Essas doenças são manejadas por estratégias que visam diminuir a incidência pela integração de medidas, tais como prevenção, monitoramento e correta seleção de produtos químicos. Além disso, a aplicação correta do manejo integrado diminui a intensidade das doenças e possibilita o controle simultâneo de mais de uma doença (ZAMBOLIM et al., 1997; CARVALHO et al., 2010).

## **4. Ferrugem do cafeeiro**

### **4.1. Origem e danos**

Dentre as doenças que ocorrem no cafeeiro, a ferrugem é a mais importante, por causar grandes prejuízos (CHALFOUN, 1997). Foi detectada em 1861, próximo do Lago Vitória, na África Oriental, em 1867 apareceu no Ceilão, atual Sri Lanka, e se expandiu rapidamente para o continente Asiático, Africano, Oceania e Madagascar (CARVALHO et al., 2010; McCOOK; VANDERMEER, 2015).

Acredita-se que a foi introduzida no Ceilão desde o leste da África, através de plantas que estavam doentes. Após a sua chegada o patógeno encontrou condições ambientais favoráveis de clima, e plantios homogêneos de variedades suscetíveis, estabelecidas a pleno sol com alta carga pendente, com poucas opções de controle (McCOOK, 2009; AVELINO et al., 2015). Antes da epidemia de ferrugem, o Ceilão era o terceiro produtor mundial de café, com exportações de até 41.855 t, mas após da epidemia, a produção caiu 98%, tornando inviável o cultivo do cafeeiro (CARVALHO et al., 2010; McCOOK; VANDERMEER, 2015).

O fungo ataca todas as variedades de cafeeiro, porém, dentro do gênero *Coffea* são observadas diferenças quanto à resistência ao patógeno. A espécie *C. canephora* Pierre e Frohner apresenta variedades com resistência à doença, enquanto que a maioria das variedades comerciais da espécie *C. arabica* L. são suscetíveis à doença (CARVALHO et al., 2010).

A ferrugem do cafeeiro foi relatada pela primeira vez na América Latina em 1970, no município de Aurelino Leal, no sul da Bahia e, já no ano seguinte foi constatada em todos os estados produtores de café do Brasil (MATIELLO; ALMEIDA, 2006).

Acredita-se que a doença chegou através de uredosporas que viajaram por meio de correntes de vento desde o oeste da África. A Nicarágua foi o segundo país da América Latina afetado pela ferrugem, em 1976 (SCHUPPENER et al., 1977; ZAMBOLIM et al., 1997).

Após estas detecções, os demais países de América Latina foram afetados pelo fungo, sendo registrado pela primeira vez na Guatemala em 1980. Diferentemente do que se acreditava, a ferrugem não causou os mesmos danos observados no Ceilão, ainda que todas as variedades de cafeeiro na América Latina fossem suscetíveis, acredita-se que o uso de sombreamento modificou o microambiente nas áreas de produção o que permitiu que o patógeno não causasse maiores danos (AVELINO et al., 2015).

Durante mais de três décadas a zona cafeeira da América Central conseguiu conviver com a ferrugem através do uso de fungicidas, variedades resistentes e práticas de manejo que visam incrementaram a produtividade para compensar os custos e as perdas na produção causadas pela ferrugem (McCOOK, 2009). Foi assim até 2012, quando ocorreu uma epidemia severa de ferrugem na região centro-americana, causada pelas condições climáticas favoráveis, principalmente associadas à redução da temperatura (CRESSEY, 2013).

No entanto, em anos anteriores já tinham acontecido outras epidemias severas por país, na Costa Rica na safra de 1989/1990, na Nicarágua na safra 1995/1996 e em El Salvador na safra 2002/2003. Duas das epidemias coincidiram com os preços baixos do café, o que resultou no abandono ou diminuição do manejo agrônômico, que favoreceu o ataque de doenças, no entanto foram diferentes após ocorreram unicamente num país e não de forma geral (McCOOK, 2009). Em 2012 todos os países centro-americanos foram atingidos pela doença, assim como países do Caribe e México. Em 2013, Peru e Equador também foram afetados severamente pela doença. Com a inclusão das epidemias da Colômbia nas safras 2008-2011, pode-se afirmar que a ferrugem teve um impacto continental em poucos anos (CRISTANCHO et al., 2012; AVELINO et al., 2015).

A epidemia de 2012 teve graves efeitos sobre a produção de café no mesmo ano na Guatemala, devido ao rápido aumento da doença. Na safra 2012/13 foi prevista uma produção exportável de 4,8 milhões de sacas de 46 kg, mas devido a epidemia ocorreu uma redução do 10% na produção (ANZUETO, 2013).

As perdas são associadas ao desfolhamento e morte temprana de ramos, causando perdas de frutos antes da colheita. Estes efeitos indicaram que a epidemia foi muito cedo, pois a epidemia se desenvolvem normalmente durante a colheita atingindo o máximo de incidência no final da colheita, principalmente devido à dispersão dos esporos pelas pessoas que colhem

os frutos em campo, sendo que os prejuízos na produção só são observados no ano seguinte (AVELINO et al., 2015).

Os altos níveis de danos e a morte precoce das plantas exigiram a renovação de 14% do parque cafeeiro na Guatemala. As perdas na produção causadas pela ferrugem foram intensas nas safras 2011/2012 nos estados de Sololá, Chimaltenango e Sacatepéquez, e mais extensos e severos na safra 2012/2013 nos estados de Guatemala, El Progreso, Santa Rosa, Jutiapa, Jalapa, Zacapa e Chiquimula (ANZUETO, 2013; ANACAFÉ, 2014).

Os efeitos da ferrugem do cafeeiro na economia da Guatemala foram devastadores nos últimos anos. Na safra 2010/2011, o valor FOB das exportações de café atingiu US\$ 909,4 milhões, para um total de 3.950 milhões de sacas. Na safra 2011/2012 a produção exportável diminuiu 2,78% o que resultou num FOB de US\$ 735,8 milhões correspondente a uma produção exportável de 3.840 milhões de sacas. Na safra 2012/2013 foram observados os primeiros efeitos da epidemia nas principais zonas produtoras, sendo que para esta safra a produção exportável foi de 3.743 milhões de sacas o que gerou um FOB de US\$ 575,1 milhões, sendo inferior em 2,5% quando comparada à safra anterior. Na safra 2013/2014, devido ao efeito da epidemia de ferrugem, ao intensivo manejo das plantas e à renovação do parque cafeeiro danificado no ano anterior, a produção exportável mostrou uma queda de 15% em relação à safra anterior, tendo sido exportadas 3,159 milhões de sacas que representou um FOB de US\$ 527,7 milhões (ANACAFÉ, 2015; BANGUAT, 2015; ICO, 2015).

#### **4.2. Etiologia e ciclo das relações patógeno-hopedeiro**

*Hemileia* pertencente à família Pucciniales, ordem Pucciniomycetes, classe Pucciniomycotina e filo Basidiomycota (MYCOBANK, 2015). O gênero possui pelo menos 50 espécies (AIME, 2006), das quais somente duas são parasitas do cafeeiro, *H. vastatrix* Berk e Br. e *H. coffeicola* Maubl. e Roger., sendo a primeira a mais prevalente em nível mundial e a segunda registrada somente na África (MOREIRA; SABO, 2005).

Nas lesões em folhas de cafeeiros, *H. vastatrix* Berk e Br. é capaz de produzir três tipos de esporos morfologicamente diferentes (CARVALHO et al., 2010; AVELINO et al., 2015). O primeiro, mais comum, denominado de uredósporo, é unicelular, de coloração amarelo alaranjada, com dimensões de 25-35 x 12-28 µm, reniforme, equinulada e ornamentado na sua metade superior e ventral liso, e são os responsáveis pela geração de novas infecções, e a prevalência do inoculo de uma estação a outra (GODOY et al., 2005; BURRITICA-CESPEDES et al. 2014).

Os teliosporos são pedicelados, unicelulares, de parede delgada e sem poro germinativo, e podem germinar *in situ* formando um hipobasidio efêmero. Raramente são produzidos basidiósporos, os quais são septados e se desconhece seu hospedeiro alternativo. Os teliosporos e os basidiósporos aparecem em lesões velhas, geralmente de 7 a 10 semanas, na região central das lesões no tecido necrosado e não tem função relatada (GODOY et al., 2005; FERNANDES et al., 2009; BURRITICA-CESPEDES et al. 2014).

Os uredósporos são produzidos em abundância na face inferior das folhas. Após a germinação, o uredósporo produz micélio que penetra através dos estômatos e se desenvolve nos tecidos da folha até amadurecer e produzir novos uredósporos. Com a formação de aglomerados de esporos, os mesmos ficam comprimidos uns contra os outros, adquirindo forma variável e, em condições normais, permanecem unidos por uma mucilagem, porém em contato com a água dissociam-se com facilidade (CARVALHO et al., 2010; AVELINO et al. 2015). O fungo apresenta ciclo de vida incompleto, iniciando com os uredósporos chegando na fase inferior da folha, que e na presença de água livre germinam, penetram e infectam, produzindo novamente uredósporos, iniciando um novo ciclo (ZAMBOLIM et al., 1997; CARVALHO et al., 2010).

Os primeiros sintomas aparecem na face inferior das folhas, por onde o fungo penetra (RAYNER, 1972). Inicialmente ocorrem pequenas lesões amarelas, que depois podem coalescer e produzir grande quantidade de uredósporos de cor laranja. Na fase superior ocorre a formação de manchas cloróticas, que ao final do ciclo se tornam necróticas (SACCAS; CHARPENTIER, 1971; CARVALHO et al., 2010).

O ciclo biológico da ferrugem pode ser dividido em etapas e fases: inicialmente ocorre a etapa de disseminação, a qual se divide na fase de liberação, em que os uredósporos são retirados dos soros, pelos respingos de chuva que atingem os esporos, ou pelas vibrações causadas pelo respingo na folha ou pelo vento (RAYNER, 1972; VENTURA et al., 2007). No entanto, foi comprovado que a dispersão a longa distância ocorre principalmente pelo vento no início da tarde quando a umidade relativa é baixa (BECKER, 1977; AVELINO et al., 2015).

Logo após ocorre a fase de dispersão, na que os esporos são transportados desde a lesão até serem depositadas numa nova folha (BECKER; KRANZ, 1977). Uma vez separados da lesão, os uredósporos podem viajar de diferentes formas: pequenas distâncias pelos respingos de água, pequenas e médias distâncias pelos insetos ou pessoas, e a médias e grandes distâncias pelo vento (RAYNER, 1961; BOCK, 1962; WALLER, 1972; BOWDEN et al., 1971; KUSHALAPPA; ESKES, 1989).

Uma vez que o uredósforo chega na folha, ocorre a etapa de germinação, durante a qual o fungo se desenvolve a partir de suas próprias reservas. Muitas condições podem limitar a germinação, principalmente duas: durante o transporte pelo vento a viabilidade pode diminuir devido às baixas temperaturas e pouca umidade, e durante a deposição onde a quantidade de água livre pode ser insuficiente para a germinação (NUTMAN et al., 1960; BOCK, 1962; KUSHALAPPA; ESKES, 1989).

A densidade ótima de infecção é de 15 a 30 esporos por  $\text{cm}^2$ . Quando os esporos estão muito dispersos, não ocorre infecção e quando formam agregados, ocorre auto inibição (MUSUMECI et al., 1974; AVELINO et al., 1999).

As condições ótimas para germinação são temperatura de  $22^\circ\text{C}$ , escuridão ou luz difusa, água livre durante a germinação até a penetração. A germinação pode ocorrer em 5 horas, mas é necessária água livre por 24 a 48 horas (NUTMAN et al., 1963; KUSHALAPPA, 1989; CARVALHO et al., 2010). A penetração ocorre pelos estômatos da folha, a partir da qual inicia a terceira etapa, onde se estabelecem as relações tróficas entre a planta e o fungo, o que dá início à infecção.

A formação do apressório sobre o estômato ocorre antes da penetração. Esta etapa é favorecida pela alternância de temperaturas altas entre  $22-28^\circ\text{C}$  e baixas entre  $13-16^\circ\text{C}$  (DE JONG et al., 1987). Alta umidade do solo ou carga de frutos alta, podem favorecer a epidemia, já que provocam migração dos compostos fenólicos e substâncias de defesa das folhas para os frutos, desprotegendo as primeiras em favor dos segundos (CHALFOUN; CARVALHO, 1987; ZAMBOLIM et al., 1997).

A temperatura atua diretamente sobre o processo de germinação e infecção. Depois de estabelecido o fungo na folha, a temperatura pode influenciar diretamente os períodos de incubação e latência do fungo, e indiretamente pode promover menor duração do molhamento folhar e na fisiologia do esporo (VENTURA et al., 2007; GHINI et al., 2011).

O fungo penetra pelos estômatos da folha através da hifa de penetração, e invade inicialmente a câmara subestomática, onde produz duas hifas laterais, que produzem um haustório, cada uma extrai os elementos necessários para o crescimento do fungo e logo é colonizado o parênquima até a epiderme (McCAIN; HENNEN, 1984; SILVA et al., 2006). A colonização da folha pelas hifas leva à formação dos sintomas visuais (lesões amarelas) que constitui o período de incubação (ZAMBOLIM et al. 1997; AVELINO et al. 2015).

A etapa de esporulação inicia-se com a formação do soro que emerge dos estômatos e inicia a produção de novos uredósporos infecciosos. Cada pústula pode produzir de 300.000 até 2.000.000 esporos num período de três meses, podendo variar de um material genético

para outro, de acordo com a susceptibilidade (McCAIN; HENNEN, 1984; VENTURA et al., 2007).

Os esporos mais velhos encontram-se no centro da lesão, perto do local de penetração, e os uredósporos jovens estão nos bordos da lesão. Depois, os soros produzem esporos de forma contínua, até necrosar o tecido. Uma lesão pode ter um período infeccioso de até 5 meses, dependendo da duração da vida das folhas; a presença de ferrugem na folha pode acelerar a morte desta (RIVILLAS et al., 2011).

O tempo entre o início da germinação e a esporulação é conhecido como período de latência, o qual é de muita importância epidemiológica, pois quando ocorre em períodos curtos o ciclo conclui rapidamente e a epidemia é mais grave (COSTA et al., 2006; AVELINO et al., 2015). O desenvolvimento da doença na planta é centrífugo, pois, inicia nas folhas velhas no interior da planta e continua até chegar nas folhas nas partes mais externas e altas da planta (AVELINO et al., 1999).

### **4.3. Epidemiologia**

A epidemia de ferrugem do cafeeiro possui duas fases. A primeira consiste na formação do inóculo primário ou inicial. Este inóculo é responsável pelo desenvolvimento inicial da epidemia. A segunda fase consiste na repetição do ciclo patogênico da ferrugem, ou policiclos, e a formação do inóculo secundário (ZAMBOLIM et al., 1997; RIVILLAS et al., 2011).

A intensidade da epidemia depende do número de ciclos que ocorram no ano e da quantidade de inóculo primário. No entanto, mesmo com pouco inóculo primário o fungo tem grande capacidade de produção de esporo, podendo resultar em uma epidemia severa se ocorrerem condições favoráveis (KUSHALAPPA, et al., 1984; ZAMBOLIM et al., 2002).

Lesões necrosadas ou latentes presentes em folhas na planta que sobrevivem após a época seca constituem a principal fonte de inóculo (MUTHAPPA, 1980; AVELINO et al., 1991). A quantidade de inóculo residual vai depender da intensidade da desfolha após a colheita. Algumas práticas de manejo, como as podas de tecidos, podem diminuir a quantidade de inóculo primário (GODOY et al., 2005).

No entanto, o uso de fungicidas após a colheita pode aumentar a quantidade de inóculo residual porque prolonga a vida das folhas sadias e infectadas (AVELINO, et al., 1995; RIVILLAS et al. 2011). As primeiras chuvas reativam a esporulação das lesões necrosadas ou latentes e formam o inóculo primário (MUTHAPPA, 1980; ZAMBOLIM et al. 1997).

Em países com somente uma época chuvosa, o desenvolvimento da epidemia ocorre em quatro fases: desenvolvimento lento, geralmente acontece nos meses de maio e julho, seguida de uma fase de crescimento acelerado nos meses de agosto a fevereiro, até atingir o máximo de infecção considerada como a terceira fase e finalmente decréscimo da ferrugem (AVELINO, et al., 1991; CALDERÓN, 2012).

A intensidade da doença vai depender das interações entre hospedeiro, patógeno, ambiente e manejo (ZADOKS; SCHEIN, 1971). Fatores biofísicos, características produtivas do hospedeiro e características de manejo podem modificar a intensidade da epidemia, mas ainda é desconhecido o efeito real desses componentes no patossistema (AVELINO et al., 2004; GODOY, et al. 2005).

A epidemia ocorre durante a época de chuva e diminui na época seca. No entanto, a falta de chuva não é limitante para o desenvolvimento da epidemia, pois outras fontes de água livre como orvalho ou alta umidade relativa, podem ajudar na germinação dos esporos na ausência de chuva (PHIRI et al., 2001; AVELINO et al., 2006).

Grandes áreas ou regiões do cultivo com variedades suscetíveis favorecem o desenvolvimento da doença, proporcionando uma maior concentração de inóculo e uma maior facilidade de disseminação entre lavouras (CARVALHO et al., 2010; GODOY, et al. 2005). Embora a ferrugem possa infectar os cafeeiros em todas as idades, observa-se, no campo, que a incidência é menor em plantas novas ainda sem produção, ou em cafeeiros recepados (LOPEZ et al., 2012).

Deve-se considerar, nesses casos, que além das condições fisiológicas das plantas, as condições do ambiente no campo são desfavoráveis à doença (CARVALHO et al., 2010). Mesmo que o hospedeiro seja suscetível e as condições fisiológicas das plantas sejam favoráveis ao desenvolvimento da doença, para que ocorra uma epidemia, o patógeno precisa ser de uma raça virulenta (CARVALHO et al. 2010; AVELINO et al., 2015).

Foram diferenciadas mais de 40 raças fisiológicas de *H. vastatrix*, isoladas a partir de amostras de cafeeiros de diferentes regiões (VÁRZEA et al., 2006). Na América Central, até 1997, todas as amostras de ferrugem avaliadas originárias da Nicarágua, Honduras, Guatemala e Costa Rica, foram identificadas como amostras da raça II. Em 2013, foram coletadas amostras de cafeeiros suscetíveis na Guatemala e identificadas as raças XXV e XXVIII, que são raças mais complexas que a raça II já que possuem mais fatores de virulência, mas não mais agressivas (AVELINO et al. 2015).

A receptividade das folhas é maior quando a carga pendente da planta é grande, sendo este um dos fatores que mais influenciam o desenvolvimento da epidemia (DAMATTA,



2004). Cerca de 50% da variabilidade na infecção observada pode ser atribuído ao efeito da carga pendente, o que explica porque as epidemias acompanham o comportamento bienal da produção (SILVA, 1994; AVELINO et al., 2006; CARVALHO et al., 2010).

No entanto, no ano 2012 a epidemia na Centro América, foi tão intensa que os ataques de ferrugem também foram severos em plantas com pouca produção, rompendo o ritmo bienal da doença (AVELINO et al., 2015). O período da colheita pode favorecer o incremento da doença na planta, pois quando a epidemia coincide com o início da colheita, a fase de crescimento acelerado ocorre nos meses onde se colhe a maioria dos frutos. Como resultado, observa-se alta desfolha e alta intensidade da doença (CARVALHO et al., 1996). Ao final da colheita, a doença diminui conforme a quantidade de folhas na planta. No entanto, a colheita não terá perdas se a epidemia se desenvolver após a maturação dos frutos, sendo o efeito quantificado apenas na próxima colheita (AVELINO et al., 1991).

Algumas práticas de manejo cultural podem favorecer ou desfavorecer processos do fungo, tais como a intensidade de sombreamento, poda, densidade de plantio ou manejo de plantas invasoras, pois podem alterar as condições microclimáticas ou ter um efeito na carga pendente das plantas (AVELINO et al. 2004; LOPEZ et al., 2012).

#### **4.4. Controle**

A alta vulnerabilidade dos sistemas agrícolas aos patógenos, em comparação com os ecossistemas naturais, ocorre principalmente pela redução da diversidade de plantas e biodiversidade (CUNHA, 2010).

Para restabelecer o balanço natural de alguns patógenos é recomendado melhorar a biodiversidade dentro do sistema de produção. Como exemplo, o sombreamento, como fonte de biodiversidade, pode auxiliar no manejo e controle da ferrugem. No entanto, quando as condições são favoráveis é recomendado utilizar técnicas de controle específicas como o controle químico ou genético (CARVALHO et al., 2010; McCOOK; VANDERMEER, 2015).

Para o controle químico de ferrugem existem dois grupos de produtos, os fungicidas de contato ou preventivos, principalmente a base de cobre, e os fungicidas sistêmicos (AVELINO; SAVARY, 2002). As aplicações de fungicidas cúpricos devem ser iniciadas quando ainda não foi constatada a ferrugem nas lavouras ou com índices de doença próximos de zero. Os intervalos de aplicação devem ser seguidos rigorosamente, assim como o número de aplicações recomendadas (VENTURA et al., 2007; CARVALHO et al., 2010).

Embora estes produtos individuais ou misturados em caldas, como bordalesa ou viçosa, propiciem bons resultados como preventivos, são cada vez menos utilizados porque são fonte de poluição e facilmente lavados quando chove, limitando sua capacidade de controle (PALMA et al., 1990; AVELINO et al., 1999).

Fungicidas sistêmicos atuam diminuindo a doença depois da infecção instalada, pois transcolam-se dentro da planta. Esses produtos permitem iniciar as aplicações com índices de até 5% de incidência, e podem ser aplicados no solo ou via foliar (ZAMBOLIN, et al., 1997; LOPES et al., 2013). Os produtos que são aplicados no solo podem ser formulados somente com o fungicida ou associado com inseticida. Esses produtos devem ser aplicados com datas pré-fixadas, durante épocas nas que exista alta umidade no solo, para serem absorvidos pelas raízes das plantas (RIVILLAS et al., 2011; LOPES et al., 2013; ANACAFE; 2014).

Dos produtos aplicados via foliar os mais estudados para controle da ferrugem são os que pertencem ao grupo dos triazóis, que inibem a síntese do ergosterol nas células dos fungos (JULIATTI et al., 2012). Para o controle da ferrugem do cafeeiro é preciso realizar mais de uma aplicação no ano. Estes produtos possuem bom efeito protetor e curativo quando as lesões não têm esporulação. No entanto, quando são utilizados em lesões com esporulação, a eficiência diminui (TRONCONI; ESCOTO, 1990; LOPES et al., 2013).

Outros produtos utilizados no controle da ferrugem pertencem ao grupo das estrobilurinas. Esses produtos possuem a capacidade de controlar a esporulação do fungo, pois inibem a respiração mitocondrial nas células. Entre as principais moléculas com eficácia comprovada estão o azoxistrobina e o piraclostrobina, que utilizados em mistura com os triazóis, melhoram a eficácia contra a ferrugem (JULIATTI et al., 2012). O controle químico é mais necessário à medida que a planta possui um maior potencial produtivo, motivo pelo qual deve ser preventivo, mesmo que seja utilizado um fungicida de contato ou sistêmico (AVELINO et al., 2004; McCOOK; VANDERMEER, 2015).

A taxa de incremento da ferrugem é tão alta que em pouco tempo pode passar de baixas incidências com poucos danos a incidências elevadas e pouco controláveis. O controle químico deve ser realizado quando as incidências são baixas, no início da época chuvosa, quando a epidemia começa seu crescimento (AVELINO et al., 1991; AVELINO et al., 1995).

A proteção deve ser mantida até o início da maturação do fruto, pois durante a colheita a doença aumenta, mas se esta inicia com valores baixos, o crescimento então será moderado. As frequências de aplicação dos fungicidas podem se adaptar conforme os resultados do monitoramento (TOLEDO et al., 1995; AVELINO et al., 2015).

Existem diversos métodos para o monitoramento da ferrugem do cafeeiro, todos empíricos, que se baseiam em amostrar uma determinada quantidade de folhas para quantificar as que apresentam sintomas de ferrugem para obter o nível de incidência. A recomendação geral de controle é quando a incidência se encontra entre 5 e 10%, pois com esses níveis o controle ainda pode ser realizado com fungicidas de contato (CHALFOUN, 1997; GARÇON et al., 2004). Acima de 10%, o uso de fungicidas sistêmicos é necessário e quando a incidência é superior a 30%, o controle pode ser limitado (ZAMBOLIN, et al., 2002).

Considerando o custo dos fungicidas, a degradação do ambiente, a dificuldade de aplicação em áreas com inclinações abruptas ou locais com pouca água, bem como os riscos para o usuário e o consumidor, a utilização de controle genético pode ser uma boa opção (AVELINO et al., 2015).

Já existem no mercado muitas variedades de cafeeiro disponíveis com produtividade semelhante as melhores variedades comerciais de arábicas. As principais variedades resistentes ou tolerantes à ferrugem são derivadas do Híbrido de Timor, que é uma progênie de um cruzamento natural de *C. arabica* L. x *C. canephora* Pierre e Frohner, ocorrido na ilha de Timor ao sul da Índonesia (CADENA; BURITICA, 1980; AVELINO et al., 2015).

Em vários países da América Central, existem seleções de plantas resistentes denominados de “Catimor”, a qual é resultado do cruzamento entre Caturra x Híbrido de Timor, com características de boa produção e resistência à ferrugem raça II (RIVILLAS et al., 2011).

A diminuição no uso desta variedade é devido à qualidade da bebida. No entanto, trata-se de uma fonte importante de manejo da ferrugem em locais onde se impossibilita o cultivo pela prevalência de condições favoráveis à produção com variedades suscetíveis (AVELINO et al., 1999).

Existem outras variedades como os “Sarchimores”, que são resultados do cruzamento entre Villa Sarchí x Híbrido de Timor, que mostram resistência à ferrugem e melhor qualidade na bebida em comparação com os Catimores. Nos últimos anos tem se desenvolvido trabalhos de melhoramento com materiais híbridos produto de cruzamentos de Sarchimor x Rume Sudão, os quais até agora mostram boa resistência à ferrugem e alta produtividade (AVELINO et al., 2015).

## 5. Análise de risco de doenças de plantas

Na agricultura, uns dos principais fatores de risco são as doenças, principalmente pela relação com o clima que pode favorecer incrementos destas e diminuição na produtividade. Entender os riscos de doenças pode reduzir danos e sustentar decisões de manejo (YANG, 2006).

Risco pode ser definido como a medida dos efeitos de uma ocorrência em termos de sua probabilidade e magnitude das consequências. Análise de riscos é definido como o processo com base científica que consiste na identificação e caracterização dos perigos, avaliação da exposição e caracterização dos efeitos dos riscos (NODARI; GUERRA, 2001). Quando aplicado a pragas, é o processo de avaliação biológica com evidência científica e econômica, para determinar se um organismo deve ser regulamentado e a intensidade das medidas fitossanitárias a serem adotadas (FAO, 2003). Na maioria das vezes, o risco de aumento futuro da doença está baseado na observação de períodos críticos ocorridos anteriormente. Dependendo do enfoque, a análise pode ser anterior ao sintoma, mas com respeito à infecção, a análise é posterior (ZADOKS, 1984).

Antecipar o risco de doenças de plantas visa reduzir os custos de produção por meio de decisões oportunas de controle, principalmente na redução do uso de fungicidas. Entender as consequências dos riscos das doenças fornecem suporte ao controle e melhoram a segurança no uso de fungicidas, reduzindo efeitos fitotóxicos e ambientais, pela exposição de outras espécies aos agrotóxicos e diminui a exposição aos trabalhadores e consumidores (HARDWICK, 2006). O conhecimento dos riscos também é indispensável porque possibilita a elaboração e gerenciamento de estratégias de controle da doença. Manejo dos riscos é um processo que envolve a análise das alternativas decorrentes dos resultados alcançados com a avaliação destes (NODARI; GUERRA, 2001).

Uma alerta indica quando é provável que a doença se torne crítica e, portanto, tenha um impacto econômico (CAMPBELL; MADDEN, 1990; MEIRA, 2008). É importante que a análise seja capaz de indicar a ocorrência da doença quando o risco possa atingir a produção ou a qualidade do produto da cultura. No entanto, para algumas doenças podem ser tolerados certos níveis incidência ou severidade (HARDWICK, 1998; PINTO et al., 2002).

Os sistemas de produção podem ser alterados pela introdução e intercâmbio de material vegetal que poderia aumentar o risco de ingresso de patógenos exóticos, ou causado pelos câmbios climáticos associados à emergência e re-emergência de patógenos, mudando os

padrões e a intensidade de doenças, ligadas ao aumento da frequência de eventos climáticos extremos, que são conhecidos por afetar surtos de doença (YANG, 2006).

A avaliação do risco epidêmico no campo requer que as principais condições ambientais que afetam o patógeno, o hospedeiro e a doença sejam incluídas no sistema, sendo necessárias observações críticas das epidemias e testes cuidadosos, em uma faixa apropriada de locais e durante várias estações de cultivo, para descrever as condições ambientais ótimas para o aumento de inóculo, disseminação e progresso da doença (BARRETO et al., 2004). Para que a informação sobre o risco da doença seja bem-sucedida é necessário que seja simples de avaliar, confiável, útil, disponível a diferentes públicos-alvo e forneça suporte para tomada de decisão de mais de uma doença com baixo custo (CAMPBELL; MADDEN, 1990; YANG, 2006).

Os usuários da informação de risco de uma doença estão em dois grupos, os pesquisadores ou financiadores, que precisam de informações sobre a avaliação dos riscos potenciais de doenças novas ou re-emergentes. E o segundo grupo, os agricultores ou produtores, que precisam da informação do risco para estabelecer medidas de manejo da doença. Porém, a avaliação do risco não é, por si, uma medida de controle, mas sim uma ferramenta utilizada no manejo integrado de doenças de plantas para auxiliar na tomada de decisão sobre estratégias de manejo efetivas (BARRETO et al., 2004; YANG, 2006; SAVARY, 2007).

A complexidade da avaliação é decorrente do fato que os riscos e os benefícios associados à uma cultura específica mudam e tornam-se mais difíceis de serem avaliados na medida que a área de cultivo aumenta e outros aspectos são considerados. Impactos indiretos nos ecossistemas são muito mais difíceis de investigar, monitorar e, portanto, prever (PETERSON et al., 2000).

Um estudo quantitativo do risco de doença é um esforço de duas fases. A primeira implica no desenvolvimento de um sistema de análise ou previsão do risco e a segunda leva à implementação do sistema para prever a probabilidade de ocorrência da doença em um momento específico em locais específicos (YANG, 2006; HARWOOD et al., 2009).

Avaliação ou previsão do risco da doença são diferentes em escalas de estudo. A primeira normalmente é realizada numa escala espacial do tamanho de um país ou continente, enquanto a segunda é realizada principalmente em áreas específicas. Riscos de doença são previsões dinâmicas das populações de um patógeno vegetal nos próximos dias ou semanas em uma temporada (TENG; YANG, 1993; YANG, 2006).

Os modelos de risco ou previsão podem ser desenvolvidos de duas formas: a) qualitativa, que envolve o desenvolvimento de critérios de previsão sem análise estatística, ou b) quantitativa, baseada na análise estatística e modelagem dos dados observados (MADDEN; ELLIS, 1988). Os métodos e técnicas utilizados são variados, sendo a análise de regressão simples e múltipla os mais populares (DEL PONTE et al., 2006). Mais recentemente, os trabalhos publicados mostram o uso de métodos e técnicas mais sofisticados, como redes neurais, regressão logística, árvores de decisão e análise estatística de series temporais (KUSHALAPPA et al., 1984, BATCHELOR et al., 1997; XU et al., 2000; PAUL; MUNKVOLD, 2005; AVELINO et al., 2006; MEIRA, 2008; GIROLAMO et al., 2013).

## **6. Sistemas e modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro**

Diferentes modelos de previsão já foram desenvolvidos para prever a evolução da epidemia de ferrugem do cafeeiro, com objetivo de proporcionar o controle segundo o risco. O modelo proposto por Kushalappa et al. (1984) foi a primeira tentativa de integrar os mecanismos que favorecem a epidemia. A maioria dos modelos foi construída através de regressões múltiplas, mas esses modelos são pouco estáveis devido às relações entre os diferentes preditores da variável resposta ou com outras variáveis (AVELINO et al., 1999). A multicolinearidade das variáveis é possivelmente a principal razão da pouca capacidade preditiva dos modelos baseados em equações de regressão com variáveis biológicas (GOTELLI; ELLISON, 2011).

O primeiro modelo de evolução da epidemia de ferrugem do cafeeiro foi desenvolvido por Rayner, no Quênia. O modelo tentava explicar o período de latência através das médias das temperaturas mínimas e máximas de um período (RAYNER, 1972). Anos depois foram desenvolvidos modelos similares no Brasil, mas as equações foram muito distintas (De MORAES et al., 1976). Em Honduras, as equações propostas foram diferentes dependendo da zona e dos anos de estudo (SANTACREO et al., 1983).

A diversidade de modelos obtidos com as mesmas variáveis demonstra a pouca estabilidade que pode ter um modelo baseado na biologia do fungo. Depois foram desenvolvidos modelos mais complexos para explicar diversas características da epidemia, como número de lesões por folha (ALFONSI et al., 1974), proporção de área foliar infectada (KUSHALAPPA; CHAVES, 1980) ou incidência da doença (OSEGUERA, 1991). Entre as variáveis explicativas foram incluídos o clima, biologia do hospedeiro e da doença, mas não foi possível desenvolver um modelo com maior estabilidade.

Baseado no pouco sucesso dos modelos anteriores, Kushalappa et al. (1983) desenvolveram modelos preditivos baseados nos mecanismos da epidemia. Nesses modelos são considerados os fatores conhecidos como necessários à sucessão de eventos que levam ao desenvolvimento da epidemia. A união dos eventos deu origem a uma variável denominada de NSRMP (Net Survival Ratio for the Monocyclic Process) ou grau de sobrevivência para o processo monocíclico. O NSRMP quantifica os acontecimentos favoráveis ao desenvolvimento da epidemia que ocorrem num período de 28 dias antes da data de previsão (KUSHALAPPA et al., 1984). Após a criação do modelo foram publicados e estabelecidos limiares de ação para controle, mas o modelo precisava de uma série de variáveis, entre as quais, as climáticas representavam muita dificuldade para serem obtidas pelos produtores.

Em 1984 e 1985 a “Comisión México-Guatemala para la Prevención y Control de la Roya del Cafeto” trabalhou no desenvolvimento de modelos de previsão baseados na metodologia de Kushalappa e colaboradores, tendo como resultado em diferentes equações para diferentes localidades e ciclos (AVELINO et al. 1999).

Diferentes sistemas de manejo, podem influir no desenvolvimento da epidemia, principalmente a carga frutífera, sombra, adubação e poda, o que demonstra que fatores locais são importantes na previsão da ferrugem (LOPEZ, 2010).

Além dos modelos baseados em regressões múltiplas, têm sido utilizadas outras técnicas, como as árvores de regressão, que permitem explicar uma variável quantitativa a partir de variáveis qualitativas ou quantitativas. A técnica se baseia em dividir a população em dois ou mais grupos de acordo com os valores da variável que discrimina e explica a variável de resposta. Os grupos são divididos em subgrupos e assim sucessivamente até descrever o efeito das variáveis quantificadas (VAN DIEPEN; FRANSES, 2006).

O resultado é uma representação gráfica de fácil interpretação com limites das variáveis preditoras que levam a mudanças sucessivas segundo as progressões da árvore e que explicam a variável de resposta (MEIRA, 2008; AVELINO et al., 2015). Esta técnica foi utilizada em Honduras para explicar a máxima incidência de ferrugem anual, utilizando características específicas das variáveis de manejo nas parcelas (AVELINO et al. 2006).

Também foram desenvolvidos trabalhos no Brasil, onde a importância foi dada às variáveis de clima e carga frutífera (MEIRA, 2008; GIROLAMO et al., 2013). Os resultados são utilizados no sistema de estações de aviso de doenças da Fundação Pro-café, na qual se avaliam diferentes sistemas de manejo e cargas frutíferas para prognosticar doenças (HOLZHAUSEN, 2014).

## 7. Árvores de decisão como modelos de previsão de doenças de plantas

As árvores de decisão são técnicas de mineração de dados (MD) muito utilizadas, pois o resultado obtido do processo é de simples interpretação e entendimento (QUINLAN, 1987; MEIRA, 2008). As árvores apresentam os resultados numa estrutura recursiva, onde é expresso o processo de classificação sequencial de uma observação, que é caracterizada por um grupo de atributos e classificada como pertencente a uma classe de um grupo de classes separadas. Numa árvore, cada nodo terminal representa uma classe e cada nodo intermediário representa um teste, envolvendo uma ou mais variáveis e cada possível resultado do teste, originando uma nova sub-árvore (VAN DIEPEN; FRANSES, 2006).

A análise é desenvolvida a partir de um conjunto de dados de treino, ou seja, baseia-se num método de aprendizagem supervisionada. O processo ocorre de forma interativa ao dividir o conjunto de dados baseado no resultado de um determinado teste a uma das suas variáveis. O processo de divisão ocorre de forma recursiva em cada sub-partição formada na divisão anterior e termina quando todas as observações de um nodo pertencem à mesma classe ou quando o processo de divisão já não origina um aumento de valor nas previsões (ROKACH; MAIMON, 2010). Uma árvore de decisão é induzida a partir de um conjunto de exemplos de treinamento onde as classes são previamente conhecidas.

O processo de criação da árvore é auxiliado por diferentes algoritmos os quais consistem em procedimentos de classificação do conjunto de treinamento (VAN DIEPEN; FRANSES, 2006; ROKACH; MAIMON, 2010). O algoritmo CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detection), deve seu nome ao teste estatístico que usa para calcular os pontos de corte ideais durante o processo de divisão. O algoritmo CHAID é um algoritmo de classificação apresentado em 1980 (KASS, 1980), sendo que em 1991 foi apresentado o Exhaustive CHAID, que representa uma evolução na qualidade da análise no processo de corte (BIGGS, 1991).

O algoritmo CHAID começa o procedimento ao criar e analisar a tabela de contingência, ao estabelecer a relação entre cada uma das variáveis independentes com a variável dependente. Em seguida, é realizado um teste de Chi-quadrado para determinar a independência entre as variáveis. Baseado no valor da probabilidade no teste de Chi-quadrado, é eleita a primeira variável de entrada, aquela que apresente a maior significância e será a variável que dividirá inicialmente a árvore (VAN DIEPEN; FRANSES, 2006).

Segundo o tipo de variável, o CHAID atua de forma distinta na junção das categorias das variáveis de entrada. Caso seja uma variável nominal e possua mais de duas categorias,



estes são comparados e as que não apresentem diferenças em relação à variável dependente são fundidas na mesma categoria (APTE; WEISS, 1997; ROKACH; MAIMON, 2010).

Este processo é realizado de forma interativa, agregando todos os pares de categorias que apresentam um valor de significância inferior ao valor mínimo previamente definido. Muitas vezes o CHAID não é capaz de determinar o ponto de corte ideal de uma variável, pois o processo de junção das categorias é interrompido logo que o algoritmo identifique que as categorias restantes são estatisticamente diferentes (APTE; WEISS, 1997; VAN DIEPEN; FRANSES, 2006).

É nesta fase de agregação das categorias que o Exhaustive CHAID não interrompe o processo, pois continua até restar apenas duas “super-categorias” para depois analisar todas as series de categorias fundidas, de forma a determinar qual o conjunto de categorias que oferece uma melhor relação de associação com a variável dependente, baseando-se no valor de probabilidade do teste Chi-quadrado para o conjunto escolhido.

Assim, é possível determinar o ponto de corte ideal para cada uma das variáveis independentes e escolher a que oferece melhor qualidade preditiva ao comparar os valores de probabilidade ajustado para cada um deles. Apesar da vantagem significativa que o Exhaustive CHAID oferece em relação ao seu antecessor, este processo exaustivo de análise requer também uma capacidade de processamento consideravelmente superior ao exigido pelo CHAID, fato que não deve ser ignorado (BIGGS, 1991; ROKACH; MAIMON, 2010).

Devido às mudanças de temperatura, umidade relativa e regiões de produção, o cafeeiro é afetado por diferentes doenças (CHALFOUN, 1997). Após o estabelecimento da ferrugem nos cafeeiros na década de 1980 na Guatemala, os níveis de incidência foram baixos e sem constituir problema para os cafeicultores. Após 2010, aumentou a intensidade da doença nas diferentes regiões do país, com padrão e comportamento diferentes de anos anteriores (CALDERÓN, 2012). Acredita-se que o aumento foi influenciado pelas mudanças climáticas, principalmente nas temperaturas mínimas, que foram maiores em 2012 em comparação às históricas (GEORGIU et al., 2014).

Apesar da relevância social e econômica da ferrugem do cafeeiro na Guatemala, até o momento não existem pesquisas conclusivas sobre a doença no campo e seu impacto na produção. A grande epidemia de ferrugem na América Central, em 2012, promoveu a criação do sistema nacional de monitoramento e vigilância da ferrugem na “Asociación Nacional Del Café” (ANACAFÉ) na Guatemala. O sistema está baseado na quantificação de variáveis do hospedeiro, da doença, do clima e do manejo da plantação, em localidades com alta

indutividade à ferrugem. Esse sistema permite gerar informações da doença em diferentes condições de manejo, adubação, carga frutífera e intensidade da ferrugem.

Análises de risco de incremento de doenças de plantas permitem racionalizar o uso de agrotóxicos, mas são pouco utilizados na prática, devido à complexidade dos modelos, dificuldade na obtenção dos dados necessários e custos para o agricultor. No entanto, a disponibilidade atual de recursos tecnológicos para obtenção de dados climáticos, monitoramento de doenças e técnicas avançadas de análise de dados, permite desenvolver sistemas simples e de fácil entendimento.

As árvores de decisão, por meio da representação diagramática proporcionam compreensão clara do relacionamento entre as variáveis preditivas e a variável dependente, sendo que é conhecido que os modelos baseados em técnicas de regressão não mostram bom desenvolvimento e estabilidade no tempo, é necessário o uso de métodos estatísticos multivariados que permitam entender e prever corretamente as epidemias de ferrugem.

Portanto, o objetivo dessa dissertação foi desenvolver um modelo de risco através de árvores de decisão para sustentar a tomada de decisão nas práticas de controle e assim realizar oportunamente o manejo da ferrugem do cafeeiro na Guatemala.

## Referências Bibliográficas

ABG (ASOCIACIÓN BANCARIA DE GUATEMALA). **Análisis económico**: Sector Café. Guatemala: EcoABG, 2014. 5 p.

ADÃO, W. **Análise de cultivares do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de características morfológicas e agronômicas**. 2002. 59f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

AIME, M. Toward resolving family-level relationships in rust fungi (Uredinales). **Mycoscience**, Willington, v. 47, n. 3, p. 112-122, 2006.

ALFONSI, R.; ORTOLANI, A.; PINTO, H.; PEDRO JR.; BRUNINI, O. Associação entre nível de infecção da ferrugem do cafeeiro, variáveis meteorológicas e área foliar, observados em (*Coffea arabica* L). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2., 1974, Poços de Caldas, Brasil. **Resumos ...** Varginha: Fundação Procafé, 1974. p. 80-83.

ALFONSI, R. Histórico climatológico da cafeicultura Brasileira. **Informativo Garcafé**. Campinas: Instituto Agrônomo, n. 52, 2000 [online]. Disponível em: <<http://www.garcafe.com.br/edic52/5206gead.htm>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

ALVES, J. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. (Ed.). **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 35-58.

ANACAFÉ (ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ). **Guía técnica del cultivo de café**. 3. ed. Guatemala: ANACAFÉ, 2014. 270 p.

ANACAFÉ (ASOCIACIÓN NACIONAL DEL CAFÉ). **Informe de la situación epidémica, social y económica sobre la roya del café**. Guatemala: ANACAFÉ, 2014. 13 p.

ANTHONY, F.; COMBES, M.; ASTORGA, C.; BERTRAND, B.; GRAZIOSI, G.; LASHERMES, P. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. **Theoretical Applied Genetics**, Berlin, v. 104, n. 5, p. 894-900, 2002.

ANZUETO, F. **Diagnóstico sobre la situación de la roya del cafeto en Guatemala**. Guatemala: ANACAFÉ, 2013. 6 p.

ANZUETO, F. **Estimado de exportación 2013/14 vinculado al impacto de la roya del café**. Guatemala: ANACAFÉ, 2013. 2 p.

APTE, C.; WEISS, S. Data mining with decision trees and decision rules. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 13, n. 2-3, p. 197-210, 1997.

AVELINO, J. MULLER, R.; CILAS, C.; VELASCO, P. Development and behavior of coffee orange rust (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.) in plantations undergoing modernization, planted with dwarf varieties in South-east Mexico. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 35, n. 1, p. 21- 37, 1991.

AVELINO, J.; WILLOCQUET, L.; SAVARY, S. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. **Plant Pathology**, London, v. 53, n. 5, p. 541-547, 2004.

AVELINO, J.; TOLEDO, J.; MEDINA, B. Evaluación de épocas y número de aplicaciones de óxido de cobre para el control de la roya anaranjada del café (*Hemileia vastatrix* Berk e Br.) en una finca del suroeste de Guatemala. In: SIMPOSIO SOBRE CAFICULTURA LATINOAMERICANA, 16., 1995, Managua, Nicaragua. **Resúmenes...** Managua: IICA-PROMECAFÉ, 1995. p. 7-9.

AVELINO, J.; MULLER, R.; ESKES, A.; SANTACREO, R.; HOLGUÍN, F. La roya anaranjada del café: mito y realidad. In: BERTRAND, B.; RAPIDEL, B. (Eds.). **Desafíos de la caficultura en Centroamérica**. San José: IICA, 1999. p. 194-241.

AVELINO, J.; ZELAYA, H.; MERLO, A.; PINEDA, A.; ORDONEZ, M.; SAVARY, S. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. **Ecological Modelling**, New York, v. 197, n. 3-4, p. 431-447, 2006.

AVELINO, J.; CRISTANCHO, M.; GEORGIU, S.; IMBACH, P.; AGUILAR, L.; BORNEMANN, G.; LÄDERACH, P.; ANZUETO, F.; HRUSKA, A.; MORALES, C. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. **Food Security**, Dordrecht, v. 7, n. 2, p. 303-321, 2015.

AVELINO, J.; SAVARY, S. Rational and optimized chemical control of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). **Recherche et Caféiculture**, Montpellier, Mai 2002, p. 134-143, 2002.

AYANO, A.; ALAMIREW, S.; TESFAYE, A. Combining ability for yield and morphological characters in Southwestern Ethiopian origin coffee (*Coffea arabica* L.) hybrids. **Sky Journal of Agricultural Research**, Lagos, v. 3, n. 7, p. 128-136, 2014.

BANCO DE GUATEMALA (BANGUAT). **Guatemala en cifras**. Guatemala: BANGUAT, 2014 [online]. Disponível em: <[http://www.banguat.gob.gt/Publica/guatemala\\_en\\_cifras\\_2013.pdf](http://www.banguat.gob.gt/Publica/guatemala_en_cifras_2013.pdf)>. Acesso em: 25 jan. 2015.

BANCO DE GUATEMALA (BANGUAT). **Guatemala entorno financiero nacional 2014 – 2015**. Guatemala: ICEPYME, 2014. 36 p.

BANCO DE GUATEMALA (BANGUAT). **Volumen de las exportaciones (FOB) de productos agrícolas seleccionados 1994 – 2014**. Guatemala: BANGUAT, 2014 [online]. Disponível em: [http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=estaeco/comercio/por\\_producto/volumen\\_1994\\_2014.htmee=121640](http://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=estaeco/comercio/por_producto/volumen_1994_2014.htmee=121640). Acesso em: 27 mai. 2015.

BARRETO, M.; VALE, F.; PAUL, P.; SCALOPPI, É.; ANDRADE, D. Sistemas de previsão e estações de aviso. In: VALE, F.; JUNIOR, W.; ZAMBOLIM, L. (Org.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 243-270.

BATCHELOR, W. YANG, X.; TSCHANZ, A. Development of a neural network for soybean rust epidemics. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, n. 1, p. 247 – 252, 1997.

BATISTA, L. **Características morfofisiológicas de cafeeiros *Coffea arabica* L.** 2010. 67f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BELAN, L.; SILVA, K.; TOMAZ, M.; JESUS JUNIOR, W.; AMARAL, J.A.; AMARAL, J.F. Aspectos fisiológicos do cafeeiro conilon: uma abordagem sistemática. **Nucleus**, Ituverava, v. 8, n.1, 2011.

BECKER, S. Diurnal periodicity in spore dispersal of *Hemileia vastatrix* in relation to weather factors. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Stuttgart, v. 84, n. 10, p. 577-591, 1977.

BECKER, S.; KRANZ, J. Comparative studies on the dispersal of *Hemileia vastatrix* in Kenya. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Stuttgart, v. 84, n. 9, p. 526 – 539, 1977.

BIGGS, D.; VILLE, B.; SUEN, E. A method of choosing multiway partitions for classification and decision trees. **Journal of Applied Statistics**, West Yorkshire, v. 18, n. 1, p. 49 -62, 1991.

BOCK, K. Dispersal of uredospores of *Hemileia vastatrix* under field conditions. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 45, n. 3, p. 63-74, 1962.

BOWDEN, J.; GREGORY, P.; JOHNSON, C. Possible wind transport of coffee leaf rust across the Atlantic Ocean. **Nature**, New York, v. 229, p. 500-501, 1971.

BURRITICA-CESPEDES, P.; SALAZAR, M.; PARDO-CARDONA, V. Pucciniales (Fungi), Royas de Colombia. **Revista Facultad Nacional de Agronomía**, Medellín, v. 67, n. 1, p. 1-92, 2014.

CADENA, G.; BURITICA, P. Expresión de resistência horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.) en *Coffea canephora* variedad Conilón. **Cenicafé**, Cali, v. 31, n. 1, p. 3-27, 1980.

CALDERÓN, G. **Epidemiología de la roya del café causada por *Hemileia vastatrix* Berk. e Br., en las regiones, central y suroccidental de Guatemala, C.A.** 2012. Monografía (Grado em Agronomía) - Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

CAMAGRO, A. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuario**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, 1985.

CAMPBELL, C.; MADDEN, L. **Introduction to plant diseases epidemiology**. New York: John Wiley e Sons, 1990. 534 p.

CARVALHO, C. (Org.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. 334 p.

CARVALHO, V.; CHALFOUN, S.; CUNHA, R. Manejo de doenças do cafeeiro. In: REIS, P.; CUNHA, R. (Eds.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. p. 689 -755.

CARVALHO, M.; JESUS, A.; CARVALHO, S.; GOMES, C.; SOARES, A. Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por semeadura. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, 108-114, 2008.

CHALFOUN, S. **Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 96 p.

CHALFOUN, S.; CARVALHO, V. Efeito da produção e da composição química de folhas de cafeeiros sobre a intensidade de ataque de ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.). In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas, Brasil. **Resumos ...** Varginha: Fundação Procafé, 1987, p. 121-122.

COOPERAZIONE INTERNAZIONALE. **Crisis productiva generada por la difusión de la roya del café e impacto en la seguridad alimentaria de actores productivos de las municipalidades de La Reforma y El Quetzal, departamento de San Marcos, Guatemala.** Guatemala, COOPI, 2014 [online]. Disponível em: <<http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Crisis%20productiva%20generada%20por%20la%20difusion%20de%20la%20roya%20del%20Cafe.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2015.

COSTA, M.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. Efeito de níveis de desbaste de frutos do cafeeiro na incidência da ferrugem, no teor de nutrientes, carboidratos e açúcares redutores **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 564-571, 2006.

COUTINHO, T.; RIJKENBERG, F.; VAN ASCH, M. The effect of leaf age on infection of *Coffea* genotypes by *Hemileia vastatrix*. **Plant Pathology**, London, v. 43, n. 1, p. 97-103, 1994.

CRESSEY, D. Coffee rust regains foothold. Researchers marshal technology in bid to thwart fungal outbreak in Central America. **Nature**, New York, v. 493, n. 7434, p. 587, 2013.

CRISTANCHO, M.; ROZO, Y.; ESCOBAR, C.; RIVILLAS, C.; GAITÁN, A. Outbreak of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*) in Colombia. **New Disease Reports**, London, v. 25, n. 19, p. 1., 2012.

CUNHA, R. **Controle químico de doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) como parte do programa APPCC**, 2010. 102f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CUNNIFFE, N.; KOSKELLA, B.; METCALF, J.; PARNELL, S.; GOTWALD, T.; GILLIGAN, C. Thirteen challenges in modelling plant diseases. **Epidemics**, v. 10, p. 6-10, 2015.

DAMATTA, F. Ecophysiological constraints on the production of shade and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Dordrecht, v. 86, n. 2-3, p. 99-114, 2004.

DAMATTA, F.; RENA, A. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologia na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 93-135.

DE JONG, E.; ESKES, A.; HOOGSTRATEN, J.; ZADOKS, J. Temperature requirements for germination, germ and appressorium formation of urediospores of *Hemileia vastatrix*. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 93, n. 1, p. 61-71, 1987.

DE MORAES, S.; SUGIMORI, M.; RIBEIRO, I.; ORTOLANI, A.; PEDRO JUNIOR, M. Incubation period of *Hemileia vastatrix* Berk. e Br. in three regions of São Paulo State. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 32-38, 1976.

DE WOLF, E.; ISARD, S. Disease cycle approach to plant disease prediction. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 45, p. 203- 220, 2007.

DEL PONTE, E.; GODOY, C.; CANTERI, M.; REIS, E.; YANG, X. Models and applications for risk assessment and prediction of Asian soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 533-544, 2006.

DEL PONTE, E.; LANA, F. Avaliação de risco de doenças de plantas: conceitos e aplicações para decisões táticas e estratégicas no manejo. In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM FITOPATOLOGIA. (Ed.) **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**, Lavras: Suprema, Lavras, 2012. p. 126-160.

FERNANDES, R.; EVANS, H.; BARRETO, R. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 108-113, 2009.

FONDO REGIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUÁRIA (FONTAGRO). **Desarrollo e implementación de herramientas genómicas de avanzada para contribuir a la adaptación de la cafcultura al cambio climático**. [online] Bogotá: FONTAGRO. 2013. Disponível em: < <http://www.fontagro.org/convocatorias/convocatoria-2008/propuestas-formales/desarrollo-e-implementaci%C3%B3n-de-herramientas-gen%C3%B3>> Acesso em: 25 jan. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Pest risk analysis for quarantine pest including analysis of environmental risk**. Rome: FAO, 2003. 35 p.

GARÇON, C.; ZAMBOLIM, L.; MIZUBUTI, S.; VALE, F.; COSTA, H. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 486-491, 2004.

GEORGIU, S.; IMBACH, P.; ANZUETO, F.; CALDERÓN, G.; AVELINO, J. Indicadores meteorológicos y climáticos de la roya del café. In: Congreso Nacional de Cambio Climático, 1. Guatemala, 2014. **Resúmenes ...** Guatemala: Comité Ejecutivo del Congreso, 2014. p. 1.

GIROLAMO, C.; ANTUNES, L. TOSHIYUKI, T.; MEIRA, C. Desenvolvimento e seleção de modelos de alerta para ferrugem do cafeeiro em anos de alta carga pendente de frutos. In: Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 8., 2013, Salvador, Brasil. **Anais ...** Brasília: Consorcio Pesquisa Café, 2013. 6 p.

GHINI, R.; BETTIOL, W.; HAMADA, E. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climatic changes: current knowledge and perspectives. **Plant Pathology**, London, v. 60, n. 1, p. 122-132, 2011.

GOTELLI, N.J.; ELLISON, A.M. **Princípios de estatística em ecologia**. Porto Alegre: ArtMed, 2011. 476 p.

GODOY, C.; BERGAMIN, A.; SALGADO, C. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) In: KIMATI, H.; AMORIM, A.; BERGAMIN, A.; CAMAGRO, L.; REZENDE, J. (Eds.). **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 3 ed. São Paulo: Ceres, 2005. v.2, p. 178-192.

HARDWICK, N. Disease forecasting. In: JONES, D. (Ed.). **The epidemiology of plant diseases**. Boston: Kluwer, 1998. p. 207-230.

HARDWICK, N. Disease forecasting. In: COOKE, B.; JONES, D.; KAYE, B. (Eds.). **The epidemiology of plant diseases**. 2. ed. Dordrecht: Springer, 2006. p. 239-267.

HOLGUIN, F. Epidemiología de la roya del cafeto bajo diferentes condiciones ecológicas. In: REUNIÓN REGIONAL DEL PROMECAFE SOBRE EL CONTROL DE LA ROYA DEL CAFETO, 2., Tegucigalpa, 1985. **Resúmenes ...** Costa Rica: PROMECAFE, 1985. p. 150-158.

HOLZHAUSEN, P. SAFCAFE – Sistema de alerta da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 40., 2014, Serra Negra, Brasil. **Resumos ...** Varginha: Fundação Procafé, 2014, p. 90-93.

INE (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA). **Encuesta nacional de empleos e ingresos**. Guatemala: Gobierno de Guatemala, 2014. 127 p.

ICO (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION). **Estadísticas del comercio**: Guatemala, Londres: ICO, 2015 [online]. Disponível em: <[http://www.ico.org/ES/trade\\_statistics.asp](http://www.ico.org/ES/trade_statistics.asp)>. Acesso em: 20 maio 2015.

ICO (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION). **Informe mensual sobre el mercado del café**: marzo, 2014. Londres: ICO. 2014

ICO (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION). **Report on the outbreak of coffee leaf rust in Central America and action plan to combat the pest**. Londres: ICO, 2013. 6 p.

JULIATTI, F.; MARINHO, B.; BELOTI, I.; SANTOS, M.; FERNANDES, F.; JULIATTI, F. A moderna proteção de plantas, efeito fisiológico de fungicidas: a arte do controle de doenças em plantas e a sustentabilidade nos sistemas de produção. In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM FITOPATOLOGIA. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. Lavras: Suprema, 2012. p. 126-160.

KASS, G. An exploratory technique for investigating large quantities of categorical data. **Applied Statistics**, London, v. 29, n. 2, p. 119 – 127.

KRAMER, P.; BOYER, J. **Water relations of plants and soils**. EUA: Academic Press, 1995. 495 p.

KUSHALAPPA, A. Biology and epidemiology. In: KUSHALAPPA, A.; ESKES, A. (Eds.). **Coffee rust: epidemiology, resistance and management**. Boca Raton: CRC Press, 1989. p. 16-80.

KUSHALAPPA, A.; AKUTSU, M.; OSEGUERA, S.; CHAVES, G.; MELLES, C.; MIRANDA, J.; BARTOLO, G. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for macrocyclic process of *Hemileia vastatrix*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 225-271, 1984.

KUSHALAPPA, A.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, n. 1, p. 96-103, 1983.

KUSHALAPPA, A.; CHAVES, G. An analysis of the development of coffee rust in the field. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 95-103, 1980.



KUSHALAPPA, A.; ESKES, B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 503-531, 1989.

KUSHALAPPA, A.; HERNANDEZ, T.; LEMOS, H. Evaluation of simple and complex coffee rust forecasts to time fungicide application. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 11, n. 3, p. 515-526, 1986.

LINARES, L.; PRADO, P.; ZELAYA, R. **El comercio exterior y el empleo agrícola en Guatemala**. Guatemala: Organización Internacional del Trabajo, 2012. 58 p.

LIVRAMENTO, D. Morfologia e fisiologia do cafeeiro. In: REIS, P.; CUNHA, R. (Eds.) **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. p. 87-161.

LOPES, U.; ZAMBOLIM, L.; SOUZA, P.; DUARTE, H.; RIBEIRO, J.; SOUZA, A.; RODRIGUES, F. Silicon and triadimenol for the management of coffee leaf rust. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 162, n. 2, p. 124-128, 2013.

LOPEZ, D. **Efecto de la carga fructífera sobre la roya (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol y sombra, en Turrialba, Costa Rica**. 99 f., 2010. Tesis (Magister Sciencie) - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.

LOPEZ, D.; VIRGINIO-FILHO, E.; AVELINO, J. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions. **Crop Protection**, Dordrecht, v. 38, p. 21-29, 2012.

MADDEN, L.; ELLIS, M. How to develop plant disease forecasters. In: KRANZ, J.; ROTOEM, J. (Eds.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Berlin: Springer -Verlag, 1988. p. 191-208.

MAGA (MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN). **Acceso a la información: roya del café**, Guatemala: MAGA, 2013 [online]. Disponível em: <[http://web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/img/roya/acceso\\_informacion-roya\\_del\\_cafe.pdf](http://web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/img/roya/acceso_informacion-roya_del_cafe.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2015.

MATIELLO, J.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.; ALMEIDA, S.; FERNANDES, D. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA – PROCAFÉ, 2005. 434 p.

MATIELLO, J.; ALMEIDA, S. **A ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. Varginha: MAPA/PROCAFÉ, 2006. 98 p.

McCAIN, J.; HENNEN, F. Development of the uredinal thallus and sorus in the orange coffee rust fungus, *Hemileia vastatrix*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 74, n. 6, p. 714 – 721, 1984.

McCOOK, S. La roya del café en Costa Rica: epidemias, innovación, y medio ambiente, 1950 - 1995. **Revista de Historia**, San José, v. 59-60, p. 99-117, 2009.

McCOOK, S.; VANDERMEER, J. The big rust and the red queen: long-term perspectives on coffee rust research. **Phytopathology**, St. Paul, v.105, n. 9, p. 1164-1173, 2015.

MEIRA, C. **Processo de descoberta de conhecimento em bases de dados para a análise e o alerta de doenças de culturas agrícolas e sua aplicação na ferrugem do cafeeiro**. 2008.

220f. Tese (Doutorado em engenharia agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEIRA, C.; RODRIGUES, L. Mineração de dados no desenvolvimento de sistemas de alerta contra doenças de culturas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 5., 2005. Londrina, **Anais ...** Londrina: FAPEAGRO/SBIAGRO, 2005.

MOREIRA, V.; SABO, M. **Fungos exóticos potenciais e atuais para o cafeeiro**. Brasília: Embrapa, 2005. 11 p.

MUSUMECI, M.; MORAES, W.; STAPLES, R. A self-inhibitor in uredospores of the coffee rust fungus. **Phytopathology**, St. Paul, v. 64, n. 1, p. 71 – 73, 1974.

MUTHAPPA, B. Behavior of *Hemileia vastatrix* during unfavourable weather. **Journal of Coffee Research**, New Delhi, v. 10, n. 2, p. 31-35, 1980.

MYCOBANK. *Hemileia vastatrix*. Utrecht, The Netherlands: MYCOBANK DATA BASE, 2015 [online]. Disponível em: <<http://www.mycobank.org/BioloMICS.aspx?Table=MycobankeRec=124054eFields=All>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

NARCISO, R. Algunas características de la población y la población económicamente activa de Guatemala. In: CONGRESO REGIONAL DE REMESAS, MICROFINANZAS E INCLUSIÓN FINANCIERA, Guatemala, 9., 2014. Guatemala, Guatemala. **Resúmenes ...** Guatemala: Asociación Bancaria de Guatemala, 2014, 29 p.

NASCIMENTO, E.; OLIVEIRA, L.; CASTRO, E.; FILHO, N. MESQUITA, A.; VIEIRA, C. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Agr.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, 2006.

NODARI, R.; GUERRA, M. Avaliação de riscos ambientais de plantas transgênicas. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.18, n.1, p.81-116, 2001.

NUTMAN, R.; ROBERTS, F.; BOCK, K. Methods of uredospore dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia vastatrix*. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 43, n. 3, p. 509-515, 1960.

NUTMAN, R.; ROBERTS, F. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. e Br.. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 46, n. 1, p. 27-44, 1963.

OSEGUERA, S. Epidemiología de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 12., 1991, Tegucigalpa, Honduras. **Memoria...** San José: IICA, 1991. 42 p.

PALMA, M.; PINEDA, C.; TRONCONI, N. Determinación de dosis óptimas de tres formulaciones de cobre, en el control de la roya del café (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.) en el departamento de Olancho. In: TALLER REGIONAL SOBRE EPIDEMIOLOGÍA, CONTROL QUÍMICO DE LA ROYA Y OTRAS ENFERMEDADES DEL CAFÉ, 1., Tegucigalpa, Honduras, 1990. **Resúmenes ...** San José: PROMECAFE, 1990, p. 77 – 97.

- PAUL, P.; MUNKVOLD, G. Regression and artificial neural network modeling for the prediction of gray leaf spot of maize. **Phytopathology**, St. Paul, v. 95, n. 4, p. 388-396, 2005.
- PEDRO JÚNIOR, M.; MORAES, S.; GODOY, I. Agrometeorological forecasting method for cercospora leaf spot in peanuts. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 69-73, 1994.
- PEREIRA, A.; RODRIGUES, G.; MELO, W.; BOTELHO, C.; COSTA, J.; BAIÃO, A.; LOPES, F. Cultivares: Origem e suas características. In: REIS, P.; CUNHA, R. (Eds.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. p. 163-221.
- PETERSON, G.; CUNNINGHAM, S.; DEUTSCH, L.; ERICKSON, J.; QUINLAN, A.; RAEZ-LUNA, E.; TINCH, R.; TROELL, M.; WOODBURY, P.; ZENS, S. The risk and benefits of genetically modified crops: a multidisciplinary perspective. **Conservation Ecology**, Wolfville, v. 4, n. 1, p. 13, 2000.
- PHIRI, N.; HILLOCKS, R.; JEFFRIES, P. Incidence and severity of coffee diseases in smallholder plantations in northern Malawi. **Crop Protection**, Dordrecht, v. 20, n. 4, p. 325 – 332, 2001.
- PINHEIRO, H.; DAMATTA, F.; CHAVES, A.; LOUREIRO, M.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.
- PINTO, A.; POZZA, E.; SOUZA, P.; POZZA, A.; TALAMINI, V.; BOLDINI, J.; SANTOS, F. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 517 – 524, 2002.
- QUINLAN, J. Simplifying decision trees. **Internationa Journal of Man-Machine Studies**, Milton Keynes, v. 27, n. 3, 221-234.
- RAMIRO, D.; GUERREIRO-FILHO, O.; QUEIROZ-VOLTAN, R.; MATTHIESEN, S. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 363-367, 2004.
- RAYNER, R. **Micologia, historia y biología de la roya del cafeto**. San José: IICA-CATIE, 1972. 68 p.
- RAYNER, R. Spore liberation and dispersal of coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk. e Br.. **Nature**, New York, v. 191, n. 4789, p. 725, 1961.
- REIS, M. (Ed.). **Previsão de doença de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. 316 p.
- RENA, A.; CARVALHO, C. Causas abióticas da seca de ramos e morte de raízes em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Produção integrada de café**. Viçosa: UFV, 2003. p. 197-222.
- RENA, A.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba: POTAFÓS, 1986. p. 13-85.
- RIBEIRO, D. **Árvore de decisão/ algoritmo genético para tratar o problema de pequenos disjuntos em classificação de dados**. 2005. 173f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RIVILLAS, C.; SERNA, C.; CRISTANCHO, M.; GAITAN, A. **La roya del cafeto en Colombia: Impacto, manejo y costos de control**. Caldas: CENICAFÉ, 2011, 51 p.

ROSSI, V.; GIOSUÉ, S.; CAFFI, T. Modelling plant diseases for decision making in crop protection. In: OERKE, E.; GERHARDS, R.; MENZ, G.; SIKORA, R. **Precision crop protection – the challenge and use of heterogeneity**. Dordrecht: Springer, 2010, p. 241-258.

ROKACH, L.; MAIMON, O. Classification Trees. In: MAIMON, O.; ROKACH, L. (Eds.). **Data mining and knowledge discovery handbook**. New York: Springer, 2010, p. 149-174.

SACCAS, A.; CHARPENTIER J. La rouille des caféiers due à *Hemileia vastatrix*. **Bulletin IFCC**, Paris, v. 10, p. 123, 1971.

SANTACREO, R.; POLANCO, E.; OSEGUERA, S. Estudio del desarrollo de la roya del cafeto *Hemileia vastatrix* Berk. e Br. Y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE CAFICULTURA, 6., Ciudad de Panamá, Panamá, 1983. **Resúmenes...** San José: IICA, 1983. p. 199-213.

SANTACREO, R.; AGUILAR, C.; RIVERA, J. Periodo de incubación y generación de *Hemileia vastatrix* Berk. e Br. y su relación con factores biológicos y climáticos en condiciones de campo en dos zonas cafetaleras de Honduras, C.A. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO SOBRE CAFICULTURA, 6., Ciudad de Panamá, Panamá 1983. **Resúmenes...** San José: IICA, 1983. p. 109-127.

SAVARY, S. Epidemics of plant diseases: mechanism, dynamics and management. In: TIBAYRENC, M (Ed.). **Encyclopedia of infectious diseases: modern methodologies**. New York: John Wiley and Sons, 2007, p. 125-136.

SCALOPPI, É.; BARRETO, M. Estações de aviso na proteção de plantas. In: NÚCLEO DE ESTUDOS EM FITOPATOLOGIA. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. Lavras: Suprema, 2012. p. 126-160.

SCHUPPENER, H.; HARR, J.; SEQUEIRA, F. First occurrence of the coffee leaf rust *Hemileia vastatrix* in Nicaragua, 1976 and its control. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 21, n. 3, p. 197-202, 1977.

SIB (SUPERINTENDENCIA DE BANCOS). **Análisis de sectores económicos: Sector cafetalero**. Guatemala: SIB, 2011. 15 p.

SILVA, C.; SILVA, A.; COELHO, G.; REZENDE, F.; SATO, F. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuai em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, 2008.

SILVA, M.; VÁRZEA, V.; GUERRA-GUIMARÃES, L.; GIL, H.; FERNANDEZ, D.; PETIOT, A.; BERTRAND, B.; LASHERMES, P.; NICOLE, M. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 119 – 147, 2006.

SILVA, R. Intensity of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. e Br.) in coffee plants with different levels of controlled production in Venezuela. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 38, n. 3, p. 19-24, 1994.

SOUZA, F.; SANTOS, F.; COSTA, J.; SANTOS, J. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Café, 2004. 26 p.

TENG, P.; YANG, X. Risk analysis and biological impacts assesment in plant pathology. **Annual Rewiev of Phytopathology**, v. 31, p. 495-521, 1993.

THOMAZIELLO, R.; FAZUOLI, L.; PEZZOPANE, J.; FAHL, J.; CARELLI, M. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agronômico, 2000. 82 p.

TOLEDO, J.; AVELINO, J.; MEDINA, B. Evaluación de fungicidas para el control de la roya *Hemileia vastatrix* en el cultivo del café. In: SIMPOSIO SOBRE CAFICULTURA LATINOAMERICANA, 16., Managua, Nicaragua, 1995. **Resúmenes...** San José: IICA-PROMECAFÉ, 1995, p. 142-155.

TRENTIN, G. **Avaliação de sistemas de previsão de ocorrência de *Phytophthora infestans* em batata**. 102f. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TRONCONI, N; ESCOTO, J. Eficiencia de triadimenol en el control químico de la roya del cafeto en Honduras. In: SIMPOSIO DE CAFICULTURA LATINOAMERICANA, 11., San Salvador, Salvador 1990. **Resúmenes...** San José: IICA, 1990, p. 115-131.

VÁRZEA, V.; RODRIGUES, J.; SILVA, C.; GOUVEIA, M.; MARQUES, D.; GUIMARÃES, L.; RIBEIRO, A. Resistência do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **Estado da arte de tecnologias na produção do café**, Viçosa: 2002. p. 297-320.

VAN DIEPEN, M.; FRANSES, P. Evaluating chi-square automatic interaction detection. **Information Systems**, London, v. 31, n. 8, p. 814-831, 2006.

VIANA, B. **Previsão de *Churn* em companhias de seguros**. 2011, 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Informática) – Universidade do Minho, Minho.

VENTURA, J.; COSTA, H.; SANTANA, E.; MARTINS, M. Diagnóstico e manejo das doenças do cafeeiro conilon. In: FERRÃO, R.; FONSECA, A.; BRAGANÇA, S.; FERRÃO, M.; MUNER, L. (Eds.). **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 451-498.

WAGNER, R. **História del café en Guatemala**. Guatemala: Villegas Asociados, 2001. 223 p.

WALLER, J. Coffee rust in Latin America. **PANS Pest Articles e News Summaries**, London, v. 18, n. 4, p. 402-208, 1972.

XU, X.; HARRIS, D.; BERRIE, A. Modeling infection of strawberry flowers by *Botrytis cinerea* using field data. **Phytopathology**, St. Paul, v. 90, n. 12, p. 1367-1374, 2000.

ZADOCKS, J.; SCHEIN, R. **Epidemiology and plant disease management**. New York: Oxford University Press, 1979. 512 p.

YANG, X. Framework development in plant disease risk assesment and its application. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 115, p. 25-34, 2006.

ZADOKS, J. A quarter century of disease warning, 1958 – 1983. **Plant disease**, St. Paul, v. 68, n. 3, p. 352-355, 1984.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F.; COSTA, H.; PEREIRA, A.; CHAVES, G. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem-do-cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L (Ed.). **O estado da arte de tecnológicas na produção de café**. Viçosa: Suprema, 2002. p. 369-449.

ZAMBOLIM, L.; RIBEIRO, F.; PEREIRA, A.; CHAVES, G. Café (*Coffea arabica* L.) Controle de doenças: Doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: RIBEIRO, F.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v. 2, p. 83-179.

## **Capítulo II**

---

### **Árvore de decisão aplicada à análise de risco da severidade da ferrugem do cafeeiro na Guatemala**

Submissão: **Plant Pathology**  
Londres, Inglaterra

Qualis CAPES (Ciências Agrárias I) = A2

1 **Decision tree applied for risk analysis of coffee rust severity in Guatemala**

2

3 **G. Calderón<sup>a,b</sup>, J. Avelino<sup>c</sup>, F. Anzueto<sup>b</sup>, G. Mora-Aguilera<sup>d</sup> and S. J. Michereff<sup>a\*</sup>**

4

5 <sup>a</sup>*Departamento de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife 52171-*

6 *900, Brazil;* <sup>b</sup>*Centro de investigaciones del Café, Asociación Nacional del Café, 5ta. Calle 0-*

7 *50, Guatemala, 01014, Guatemala, Guatemala;* <sup>c</sup>*Centre de Coopération Internationale en*

8 *Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Avenue Agropolis, 34398,*

9 *Montpellier Cedex 5, France;* <sup>d</sup>*Programa de Fitopatología, Campus Montecillo, Colegio de*

10 *Postgraduados, Montecillo 56230, México*

11

12 \* Corresponding author: S. J. Michereff - e-mail: sami.michereff@ufrpe.br

13 Telephone number: +55 8133206208

14 Fax number: +55 8133206200

15



## 16 **Abstract**

17

18 The rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix* Berk & Br., is the main disease of coffee  
19 (*Coffea arabica* L.) in Latin America. The principal damage caused is defoliation and death of  
20 lateral branches, which causes premature fruit losses. Guatemala produces coffee in 270,000  
21 hectares, and near of the 82% is cultivated with susceptible varieties to coffee rust races.  
22 Coffee rust epidemic is a complex process based on the relationships between the  
23 environment, plant growth, and crop practices. The objective of this study was to develop  
24 models for risk analysis based on decision trees in order to understand how cropping patterns  
25 determine the progress of the disease in Guatemala to identify and prioritize the important  
26 factors. For this work were used 1215 observations, obtained in 35 coffee plots from April  
27 2013 to December 2014. The modeled variable was the leaf severity. Using the CHAID (Chi-  
28 Square Automatic Interaction Detection) algorithm were developed two decision trees. The  
29 first predicts leaf severity in plots where the producer does not follow the disease, while the  
30 second requires rust monitoring 28 days before the date of the severity risk analysis. In the  
31 trees, the main predictor was the fungicide spraying per year. The following predictor  
32 variables on the tree were related with the tissue availability for new infections, which also  
33 stimulates microenvironments with high relative humidity, warm temperatures, and foliar  
34 wetness prevalence. Only for non-monitoring tree was included the average rainfall, which  
35 suggests that climate relationship with the epidemic, is at microclimate level. The tree for  
36 plots with disease monitoring includes in all levels the 28 before severity and replaced  
37 management or climate variables getting similar predicted values. The accuracy of the tree for  
38 monitored plots was 65.85% with an estimated accuracy by cross validation of 73.34%, and  
39 for the monitored plots, the accuracy was 62.53% and 68.54%, respectively. Risk analysis  
40 models prove to be tools of support in making management decisions to implement the

41 control of coffee rust and allow list in order of importance, management practices, and  
42 climatic factors that influence disease severity in different crop patterns.

43

44 **Keywords:** CHAID algorithm, *Coffea arabica*, epidemiology, *Hemileia vastatrix*, plant  
45 disease modeling.

46

## 47 **Introduction**

48

49 The coffee rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix* Berk & Br., is the main disease of  
50 coffee (*Coffea arabica* L.) in Latin America. The principal damage is defoliation and death of  
51 lateral branches, causing secondary losses like premature fruit losses in the following years of  
52 the epidemic. Nevertheless, when the epidemic is very severe the damage takes place in the  
53 same season due to branch and fruit death before harvest (Avelino *et al.*, 2015).

54 Some characteristics of coffee growing in Central America, Mexico and Caribbean  
55 region were favorable for a severe rust epidemic in 2012-2013, impacting the coffee  
56 production. The plausible causes of this epidemic were unfavorable coffee prices, low level of  
57 crop management, predominantly susceptible varieties on field, variable yield, aging coffee  
58 stands, and prevailing favorable weather on the region at the same time. Under these  
59 circumstances, the epidemic reaches high levels of damage, producing unusually primary  
60 losses in the earlier season, and premature death of branches (Avelino *et al.*, 2015). The losses  
61 caused by rust were significantly varied in each region and are not well defined. Between the  
62 harvest 2012/13 and 2013/14, Guatemalan coffee production overall fell 15% from 3.7 to 3.1  
63 million bags of 60 kilograms (International Coffee Organization, 2015).

64 Within meteorological factors, irregular rainfall patterns and increased minimum  
65 temperatures associated with a reduction in diurnal temperature range, which possibly

66 decreased the latency period were reported (Baker, 2014; Georgiou et al., 2014; Avelino, et  
67 al., 2015). In addition, has suggested that, ecological or landscape changes due to removal of  
68 trees, reduce of biodiversity, and wind suppressing function probably contributed to the  
69 increase of coffee rust (Avelino et al., 2012; Vandermeer; Rohani, 2014).

70 In Central America, the coffee rust genetic variability is low, and the evolution has  
71 apparently been slow. In 1997 were identified only the races I and II present in the region  
72 (Avelino et al, 1999). However, in 2012-13 were identified in Costa Rica the races XXIV and  
73 XXXVI, similarly in 2013 were identified in Guatemala the races XXV and XXVIII, in  
74 bought countries the rust were collected from samples of different regions in genotypes  
75 susceptible to race II (Avelino et al., 2015).

76 Although these races are more complex because they holds several virulence factors,  
77 they are not know to be more aggressive than race II (Avelino et al., 2015). These new coffee  
78 rust races are not considered, until now, be the cause of the epidemic, but rather a  
79 consequence: an increase of the population is conducive to an increase of mutation events and  
80 thus an increase of the probability to have new races (McDonald & Linde, 2002)

81 The possible hypotheses for the outbreak show that the coffee rust epidemic is a  
82 complex process based on the relationships between the environment, plant growth and crop  
83 practices. Understand this allows developing models that integrate the individual effects, and  
84 interaction, of various process, which aid to take management decisions and implementation  
85 of appropriate control measures (Avelino et al., 2006; Meira et al., 2008).

86 Some models based mainly on multiple linear regression have been developed for  
87 coffee rust attacks prediction to choose the right time for fungicide spraying (Kushalappa &  
88 Eskes, 1989). Other nonparametric techniques of data mining like decision trees and artificial  
89 neural network also were used to explain coffee rust epidemic (Pinto et al., 2002; Avelino et  
90 al., 2006; Meira et al., 2008; Cintra et al., 2011; Giolarmo et al., 2013). Decision trees are

91 procedures that does not need previous hypothesis and detect interactions between the  
92 explanatory variables, since multicollinearity variables does not affect the test performance  
93 (Guyot et al., 2010). The results are presented as graphical tree with easy interpretation and  
94 demonstrates a sequential structure of the problem. Trees allows quantitative and qualitative  
95 variables as predictors through discriminant analysis and multiple regressions (Fayyad et al.,  
96 1996).

97 The coffee rust epidemic is the consequence of the risk associated with the climate, crop  
98 management and the characteristics of the plant (Avelino et al., 2015). The study was based  
99 on the coffee plantations characteristics, that were easy to measure, and which could be  
100 modified by the coffee producers depending on the coffee rust risk.

101 Considering the importance of understanding the interactions between these variables  
102 and the advantages of decision trees, the study aims to develop a risk analysis based in  
103 decision tree for understand how the different cropping patterns determine the coffee rust  
104 progress in Guatemala, identifying and prioritizing the most important factors.

105

## 106 **Materials and methods**

107

### 108 **Agrobiological context of the survey**

109

110 Guatemala produces coffee in a surface of 270,000 hectares, and near of the 12% is  
111 establish with resistant varieties, primarily in the southeast region. Besides, the 82% is  
112 cultivated with varieties that are genetically similar: Caturra, Catuaí, Bourbon and others,  
113 which are susceptible to most know coffee rust races, which would suggest that variety is not  
114 source of variation in rust attack (Avelino & Rivas, 2013).

115           The coffee production in Guatemala is divide in seven administrative regions (Fig.  
116 1),on each region were selected three plots in 2013 and other two plots in 2014; some plots  
117 were changed mainly by defoliation or plant substitution. The regions are different in altitude,  
118 total annual rainfall, distribution of the rainy season and different types of textures and  
119 chemical soil composition. Guatemalan coffee is mainly produced under shade, with dwarf  
120 susceptible varieties on high density planting. The cropping systems are diverse and depend  
121 by the local conditions, farmer knowledge and investment capacity, which develops different  
122 crop patterns.

123

#### 124 **Sampling and data collection**

125

126           The purpose of sampling was included a different range of crop situations, weather  
127 conditions and the mainly altitude range production in each region. The survey was conducted  
128 from April 2013 to December 2014 and, follows to the fortnightly observations of coffee rust;  
129 the locations are given in Table 1.

130           At each farm were selected an area of 0.7 hectare, with susceptible varieties, on the  
131 most common coffee crop system of the region and near from a weather station. At each plot  
132 were marked 20 coffee trees at random, on each trees two branches were selected in two  
133 different strata in opposite direction. Presence and fall leaves, and presence or absence of rust,  
134 were assessed on each branch, also were estimated the rust severity per leaf by using a  
135 diagrammatic scale (Kushalappa, 1978; Kushalappa & Chaves, 1980).

136           To assess the severity were developed patterns of lesion size and created a graphic  
137 scale divided in six classes (0, 1, 5, 15, 45, >70%) (Fig. 2). In each evaluation were used the  
138 scale to help the estimation. When a branch die or broken, it was replaced with a new branch  
139 near with similar size in the same tree marked.

140           The variables documented in interviews with the farmers and the directly assessed on  
141 field are in Table 2. For each plot were assessed the distant between coffee trees in the line  
142 and in the row. Also were identified the number of coffee trees per hole and the number of  
143 sprouts per plant. It was identified the number of species of shade trees and visually estimated  
144 the percentage of shade.

145           The farmers supplied the data of crop management: variety and age of coffee trees,  
146 number of soil and foliar fertilization, number of pruning practices on shade and coffee trees.  
147 In addition to management practices, was obtained information about the number of spraying  
148 per year and types of active ingredient used to control of diseases and weeds on field. The  
149 data of fruit load obtained from the farmers was the total production by area, to use this  
150 information the variables were transformed to production per plant, through total production  
151 by the total number of plants.

152           The meteorological data, such as air temperature, rainfall, and relative humidity of air,  
153 were recorded every 30 minutes by an automatic station (Watch Dog model 2900 ET),  
154 installed near from the coffee plot evaluated. The predictive attributes were derived from the  
155 knowledge of coffee rust pathogenicity in the literature. Each day was considered from 0  
156 hours to 23 hours (Meira et al., 2008), and by day were calculated the variables described in  
157 Table 3.

158           Some conditions related in the literature were assumed for climatic analysis: at each  
159 day were considered values of foliar wetness, which is necessary for almost six hours to  
160 complete the germination and penetration process (Kushalappa et al., 1983). The hours with  
161 high relative humidity of air ( $\geq 95\%$ ), were used as indirect measure of leaf surface wetness  
162 (Sutton et al., 1984). Based on the pathogenicity, the wetness periods were estimated at two  
163 different times: the first period was estimated for the hours at night, between 20 hours of one  
164 day to 8 hours of the next day, since spore germination occurs principally in absence or

165 diffuse light (Montoya& Chaves, 1974). The second period was estimated for all day, from 12  
 166 hours for one day to 12 hours for the next day, for the reason that the humidity periods occurs  
 167 generally between two days, assuming that the condition were required for complete the  
 168 germination and penetration process (Waller, 1982; Kushalappa & Eskes, 1989).

169 Average temperatures for the periods of total day and night hours were calculated for  
 170 each day, once the leaf surface is wet, the temperature is the main factor that determines the  
 171 percentage of germinated and penetrate spores on the tissue (Rayner, 1972; Kushalappa et al.,  
 172 1983). The infection is the result of an accumulative period with favorable conditions for the  
 173 fungus development, based on that each day were considered a potential infectious day (Meira  
 174 et al., 2008).To create an infectious period was considered laps of the favorable conditions  
 175 accumulated for 14, 28, 42, 56, and 72 days after the date of severity estimation.

176

### 177 **Selection of dependent variable**

178

179 Coffee rust attacks were quantified on the marked branches. These observations allows  
 180 the calculation of two variables; incidence (percentage of disease leafs for each observation)  
 181 and severity (total leafs in each class of the diagrammatic scale for each observation). For the  
 182 analysis, the severity was transformed into a synthetic proportion, between 0 and 100, which  
 183 refers the attack intensity.

184 The severity proportion were calculated by:  $Sa = \left[ \left( \sum_{i=0}^5 \frac{i * n_i}{5 * N} \right) * 100 \right]$ , where, N is the  
 185 number of total leafs in the branches and  $n_i$  the number of leafs scored i on the attack intensity  
 186 scale. The incidence and severity proportion(Sa), were described by the skewness and kurtosis  
 187 values, and compared by the Pearson correlation coefficient in order to choose the disease  
 188 variable to be modeled (Avelino et al., 2007).

189           The selection of the variable seeks the selection of a variable which the ability to  
190 describe and represents the evolution of the epidemic on the time. For monitoring model, the  
191 dependent variable choose was delayed, 14, 28, 42 and 56 days, and compared by the Pearson  
192 correlation coefficient in order to choose the interval of days from the date of prediction.

193

#### 194 **Model development**

195

196           The epidemiologic application of decision tree on plant protection are related to the  
197 flexibility to understand the concepts, possibility of modeling complex nonlinear functions  
198 and development based on expert experience (Alves et al., 2010). Segmentation is usefully  
199 technique in agronomy for situations with complex relations; it operates by dichotomies,  
200 which consist in divide a set of observations into subgroups, based on the ability to estimate  
201 the dependent variable (Avelino et al., 2006).

202           The basic algorithm CHAID (Chi-Square Automatic Interaction Detection) is useful  
203 for data sets, with categorical and continuous variables. This algorithm operates on a nominal  
204 scaled dependent variable and maximizes the significance of a chi-square statistic test at each  
205 partition. The CHAID is a recursive partitioning method, which allows building non-binary  
206 graphical trees, based on predictor values (Kass, 1980; Van Diepen & Franses, 2006).

207           For decisions problems this method divide the data set, based on the predictor values,  
208 into the more homogeneous possible groups. Each group is created by a variable, which is  
209 capable to split the data set with the smallest  $P$  value of an  $x^2$  test, all the groups are divided  
210 by the same principle (Avelino et al., 2009).The survey includes categorical and continuous  
211 data, for modelling. The classification trees are statistical techniques for explain variation of a  
212 single response variable by one or more explanatory variables.



213           The statistical analysis were developed using the Data Mining – General CHAID  
214 model procedure available in the STATISTICA 10 for Windows (StatSoft, Inc. 2011, Tulsa,  
215 OK, USA). The CHAID method was used to develop two models, to establish the  
216 relationships between the dependent variable, crop management practices, and weather  
217 variables, and for one model including the monitoring disease in an interval of days before the  
218 date of prediction.

219           The tree construction was concluded when none of the adjusted  $P$  values was lower  
220 than 0.05 or when the node formed had less than 50 observations, based on the criteria that  
221 each plot have 24 observations per year, and the minimum of observations allows characterize  
222 two years of the disease or two plots with one year of observations respectively.

223

#### 224 **V-fold Model Cross Validation**

225

226           Cross validation, is technique for assessing how the results of a statistical analysis will  
227 represent to an independent data set. Mainly used to estimate how accurately a model will  
228 perform. The objective of cross validation is training model, in order to limit problems like  
229 over fitting or give an insight on how the model will generalize to an independent dataset  
230 (KOHAVI, 1995).

231           V-fold cross-validation, repeated ( $v$ ) random samples are drawn from the data for the  
232 analysis, and the respective model, is then applied to compute estimated values. Typically, the  
233 values are computed over the  $v$  replications; thus, this technique allows the analyst to evaluate  
234 the overall accuracy in repeatedly drawn random samples (BURMAN, 1989). This method is  
235 customarily used in tree classification and regression. For the analysis the seed for random  
236 number generate were 1, and the  $v$ -fold cross validation value were 10.

237

## 238 **Results**

239

### 240 **Selection of dependent variable**

241

242 The incidence and severity proportion coefficients of linear correlation were high and  
243 significant. The severity proportion (Sa) displays a distribution widespread, explained by the  
244 positive dissymmetry estimated by the skewness (1.83) and the kurtosis coefficient (3.68)  
245 (Table 4).

246 Also were observed the distribution of the field observations for each variable by an  
247 boxplot analysis, which shows that the incidence have average values of 30% an maximum of  
248 60% of the branch with rust presence, the values are high compared with the severity which  
249 shows average value of 10% with a maximum of 20% (Fig. 3).

250 The severity index is a variable with better variation between the field observations and  
251 it can better describes the epidemic among the year under the different management patterns  
252 and weather conditions, unlike to the incidence, which in sever attacks reaches the highest  
253 levels quickly, and loss the capability to show changes on the epidemic.

254

### 255 **Selection of the interval to the date of prediction for monitoring model**

256

257 For the severity proportion were correlated the variables displayed in different time  
258 intervals. The coefficient of linear correlation were highly significant ( $P>0.01$ ) for all the  
259 intervals. The intervals of 28, 42, and 56 days before the date of prediction, shows the same  
260 effect explained by the positive Pearson coefficient ( $r = 0.6$ ), for the interval of 72 days the  
261 coefficient decreases and reduce the capacity to represent the epidemic (Table 5).

262

## 263 CHAID analyses

264

265 For the analysis were used all the management variables linked with the disease which  
266 are easy to measure. For the weather, conditions were tested the different week intervals for  
267 estimate the regression tree. The better descriptor period was 56 days interval. The regression  
268 tree obtained aid to understand the relationship between the predictors and the Coffee Rust  
269 Severity observed (CRSa).

270 *Model for non-monitoring plots.* The most important predictor for the developed tree  
271 were the annual fungicide spray (AFngS), which divide the plots in two groups(Fig. 4). The  
272 more inductive group characterized by the plots with two or less sprays per year (ID=2),  
273 displays an average severity 13.98%. On the second level the plots were divided by the  
274 pruning plant age (PPrnAg), this variable create two indivisible categories one for the plants  
275 with more than four years to be pruned (ID=5), that were the most inductive condition for  
276 coffee rust with an average severity 21.26%. The less inductive group were categorized by the  
277 plots of plants with four or less years (ID=4),with a 9.78% average severity. In the first level  
278 the second group formed by the AFngS, were for the plots with more than two fungicide spay  
279 per year (ID=3). In the second level, the cut down plant age (CAg) divide the plots in two  
280 categories. The first group were for plants with more than three years (ID=7), which is the  
281 more inductive coffee rust condition, this group were characterized by the coffee tree density  
282 per hectare (Dns/Ha), that create two indivisible groups; one for the plots with more than  
283 5,000 plants per hectare (ID=11), that displays an average severity 24.31%. In addition were  
284 formed a second group for the plots with 5,000 or less coffee plants per hectare (ID=10),  
285 which were less inductive condition with an average severity 7.09%.

286 Back in the second level of the tree the cut down plant age also develop a less  
287 inductive group for the plants with three or less years, this variable were characterized by the

288 average precipitation (AP\_PINF), that create two more groups. The first group formed by the  
289 plots with 5.25 millimeters or less rainfall, which form an indivisible group with an average  
290 severity 9.81%. In addition the second group were for the plots with more than 5.25  
291 millimeters of rainfall (ID=9), that are less inductive. This group were characterized by the  
292 variable of annual physical weeding rounds; which divide the plots in two indivisible groups.

293 The plots where is realized one or none physical weeding rounds per year (ID=20),  
294 were less inductive with an average severity 4.73%, different to the plots where is realized  
295 more than one physical weeding round per year (ID=21), which are more inductive with an  
296 average coffee rust severity 7.20%. The regression tree for non-monitoring plots characterize  
297 seven conditions of coffee rust (Table 6); each group contain plots with similar management  
298 and environmental conditions, classified in different levels of severity, which allows consider  
299 each group as a predicted value. The lowest value predicted by the tree were 4.73% severity  
300 by the group ID=20, and the higher value predicted were 24.31% severity by the group  
301 ID=11. The decision tree have a 65.85% accuracy on the training set, and for the cross-  
302 validation, the accuracy were 73.34%.

303 *Model for monitoring plots.* When is included the disease monitoring 28 days before  
304 the date of predict, the most important predictor of coffee rust were the annual fungicide spray  
305 (AFngS), which divide the plots in two groups (Fig. 5). The first group was for the plots with  
306 less than two fungicide spray per year (ID=2); this group was also divides by the 28 day  
307 before severity, which describes two indivisibles groups. The group with the lowest coffee  
308 rust value predicted were characterized by the plots that the 28 day before monitoring were  
309 less than or equal to 9.45% (ID=4), this group show an average severity 7.59%. In contrast,  
310 the group formed by the plots with more than 9.45% severity 28 days before the date of  
311 prediction (ID=5), displays an average coffee rust severity of 19.77%. In the first level the

312 plots with more than two fungicide spray (ID=3) were divided by the cut down plant age  
313 (CAg).

314 The plants with less than three or three years (ID=6), displays the lowest value of  
315 coffee rust severity; this group of plots were characterized by the severity quantified 28 day  
316 before the date prediction in two indivisible groups; where the plots with less than or 5.34%  
317 (ID=8) severity, predicts an average severity of 5.08%. Different to the plots with more than  
318 5.34% severity (ID=9), displays an average severity of 9.31%. On the third level, the density  
319 of coffee trees per hectare (Dns/Ha) characterize the plants with more than three years of cut  
320 down (ID=7). The plots with 5,000 or less coffee trees per hectare(ID=10) were less  
321 inductive, these plots were divided by the variable of coffee rust quantified 28 days before the  
322 date of prediction, which characterize two indivisible groups. Plots whit 5.34% or less coffee  
323 rust severity (ID=13), displays an average severity 5.34%, compared with the plots where the  
324 quantification of coffee rust was more than 5.34% (ID=12), that displays an average coffee  
325 rust severity of 11.68%. On the third level, the plots with more than 5,000 coffee trees per  
326 hectare (ID=11) displays an average severity of 24.30%, forming an indivisible category.

327 The regression tree for monitoring plots characterize seven conditions of coffee rust  
328 (Table 7). The lowest value predicted by the tree were 5.08% by the group ID=8, and the  
329 higher value were 24.31% by the group ID=11. The decision tree have a 62.53% accuracy on  
330 the training set, and for the cross-validation, the accuracy were 68.54%.

331

## 332 **Discussion**

333

334 Many author shave demonstrated that the coffee rust epidemic is a complex  
335 pathosystem where the crop patterns, the weather conditions and the plant characteristics  
336 interact between each other influencing the intensity and the disease develop. The decision

337 trees have been used for explain this interactions on the coffee-rust system. Avelino et al.  
338 (2006) developed a segmentation analysis to explore the effect of the local characteristics of  
339 each plantation on the intensity of coffee rust epidemics in Honduras. Similar, for understand  
340 the effect of climatic variables, fruit load, and plant density on the coffee rust infection rates,  
341 Meira et al. (2008) develop a decision tree. After understand the disease for Brazilian  
342 conditions were developed an early warning system based on the plant density, fruit load and  
343 climatic information (Cintra et al., 2011; Thamada et al., 2013), conditions that are specific  
344 for each region and crop condition on the different models used.

345         Showing the importance of crop management patterns, and how that influence the  
346 development of coffee rust, the decision trees shows the potential for interpret the complexity  
347 of the pathosystem, derivate from nonlinear interactions between the variables. According to  
348 the results of the CHAID analysis the better predictor were the annual fungicide sprays.  
349 Application of fungicides are the most extensively method of rust control, after the outbreak  
350 the primary option on the short term to control the disease were the use of fungicides on  
351 schedules, which usually involve monthly applications throughout the rainy season,  
352 depending on each region (Kushalappa & Eskes, 1989).

353         Coffee rust epidemic dynamics vary considerably depending on biophysical  
354 environmental conditions, principally linked to the rainfall distribution and intensity (Avelino  
355 & Savary, 2002). In countries with more continuous rainfall patterns, are required more than  
356 two sprays to reduce the severity rust (Kushalappa & Eskes, 1989). Intensification of coffee  
357 production and climatic variations are conditions reported as factors that can reduce or  
358 increase the epidemic risk (Avelino et al., 2004), under favorable conditions the control is  
359 succeed mainly by spraying fungicides almost three times in the year. For coffee rust, farmers  
360 adopted chemical control so they could continue cultivating susceptible arabicas (McCook &  
361 Vandermeer, 2015). Bock (1962) show that two applications of copper fungicides, close to the

362 onset of each rainy season gave the better control, and for prolonged rainfall, were necessary  
363 extra sprays based on 21-days intervals. Different for the systemic fungicides which are  
364 mainly used for coffee rust control because they are able to take up into the leaf tissue,  
365 attacking the mycelia and preventing the spore production (Charrier & Eskes, 2004; Waller et  
366 al., 2007). These products for appropriate control need schedules distributed on periodic  
367 spraying at 4 to 6 week intervals throughout the rainy season (Rivillas et al., 2011). The  
368 fungicide spray became essentially when the plant have more productive potential; the  
369 protective and systemic fungicides should be applied preventively, if they are applied  
370 incorrectly or late, can contribute to higher epidemic and yield losses. The control must be set  
371 when the incidence is low, at the opening of the rainy season, when the epidemic begins its  
372 growth (Avelino, et al., 1999; Ploetz, 2007). The efficiency of control is greatly reduce by  
373 out-of-season rainfalls and that attempts to offset this by applying sprays earlier or later could  
374 intensify subsequent disease (Waller, 1982; Avelino et al., 2015). This effect is associated to  
375 the higher leaf retention with the reminder of more inoculum and greater leafiness of trees  
376 (Mulinge & Griffiths, 1974).

377         However, other crop management factors also contributed with disease progress, in the  
378 second level of the decision tree, the variables are linked to the coffee plant architecture and  
379 foliage area. The plants pruned with less than four years or the plants with less than three year  
380 of cut down, are less susceptible to coffee rust. This condition is associated to the size of crop  
381 canopy and leaf age, when the foliage is pruned the area to intercept spores or the rusted  
382 leaves present in the plant are cut off which results on the immediately reduction of the  
383 disease (Avelino et al. 2004). The objective of pruning is control the production and the  
384 canopy size. When stimulates new vegetative growth, the immediate consequence is the  
385 producing of healthy foliar area, reducing the disease by a more open canopy that is less  
386 favorable to diseases dependent on high humidity (Avelino et al., 2004).

387           Other condition includes the leaf age, the penetration of *H. vastatrix* only occurs on  
388 well develop stomata; the younger leaves have less mature stomata that make less receptive to  
389 rust (Kushalappa, 1989). The leaves well developed, totally opened and flexible, are the most  
390 receptive to the fungus, this type of leafs are mostly at center of the canopy, where the lesion  
391 density is higher compared with the leaves on the top of the branch (Eskes & Toma-Braghini,  
392 1982; Gilet et al., 1990). According to Martins et al. (1985), leaves infected by *H. vastatrix* are  
393 find in higher proportion in the lower and middle parts of the coffee plant on the wet season.  
394 The middle part of the branches in older plants are the most favorable for rust development  
395 produced by the longer periods of foliar wetness or higher relative humidity, lowest light  
396 intensity, and mild temperatures that creates a favorable microclimate (Garçon et al., 2000;  
397 Avelino et al. 2006). The plants became less productive as it ages; therefore, cut down is a  
398 management practice to expance the lifetime of a coffee tree, control the canopy size and  
399 maintain the bean quality. Many types of pruning are used for canopy management, but with  
400 the increase of the coffee rust, the selective prune became the method most frequently used.  
401 This practice consist by cut down only the plants severely attack or with other type of  
402 damage, based on this criteria the plants may be prune after the first yield, which is at three or  
403 four years. Pruning enables better light penetration in the plantation, which affects the  
404 uredospore germination, and reduces the foliar wetness, limiting the spore germination and  
405 fungus penetration (Avelino et al., 2004).

406           Other cropping practices have similar effects on coffee rust development, like the  
407 coffee plant density, which interact with the luminosity, temperature, relative humidity, and  
408 the availability of foliar area (Rezende et al., 2014). On the third level of the tree the variable  
409 of plant density per hectare, characterize the group of plots with more than three years of cut  
410 down. Use the right density will reduce the microclimate conditions favorable for the spore  
411 germination, and helps to realize the management, and harvest activities. According with



412 Pavan & Chaves (1994), on soils with high coffee plant density, chemical changes occurs, like  
413 elevate pH, Ca, Mg, P, or K, and reduces the interchangeable Al, this is a consequence by the  
414 better efficiency of the plants using the luminosity, water and minerals available on soil (Rena  
415 et al., 1994). Coffee crops with more than 5,000 plants per hectare are affect by atmospheric  
416 changes, principally on the evaporation rate and the wind velocity allowing favorable  
417 temperatures, humidity and inoculum concentration between the plants (Jaramillo-Robledo,  
418 1994; Carvalho & Chalfoun, 2001). Matiello et al. (1981) observed that in high plant density  
419 systems the rust incidence was 35% - 92% higher than the conventional planting system,  
420 changing from one region to another. Paiva et al. (2011) note similar effects on irrigated crop  
421 and after pruning, where at high-density coffee plants (10,000 and 5,000 plants per hectare)  
422 the rust intensity were 54 – 88% higher than conventional density (2,500 plants per hectare),  
423 even without production the rust were severe, this effect were associated to high relative  
424 humidity, and low luminosity between the plants. Other effect at high-density plantation is the  
425 increase of self-shading between the coffee trees; which interferes with the amount of coffee  
426 leaf area, leaf surface temperature, leaf wetness, and individual coffee tree yield, which have a  
427 direct or indirect effect on the rust occurrence (Carvalho & Chalfoun, 1998; Avelino et al.,  
428 2004). Planting coffee trees at high density is associated with interplant competition for  
429 developing root area, and nutrients that decreases the yield per plant. Lower yield may reduce  
430 the incidence of coffee rust, but on high-density crops, the effect is favorable to the disease,  
431 because more coffee trees allows favorable weather conditions and plants with low nutritional  
432 levels, and stressed are more susceptible to coffee rust (Carvalho & Chalfoun, 2001; Avelino  
433 et al., 2004).

434         The main climatic factors known to have, effects on the life cycle of the fungus are  
435 rainfall, temperature and wind, which affect spore dispersal, light intensity, temperature and  
436 leaf wetness, that affects spore germination, penetration, and tissue colonization. The rust

437 outbreak on the region was characterized by the climate change; were registered low rainfall  
438 levels, which prevent the spores being, wash away but were sufficient for the spore  
439 germination. On the third level of the tree, the plots with less than three year of cut down  
440 where characterized by the average rainfall. Free water have different effects on the rust  
441 biology, according with Nutman et al. (1960), uredospores require liquid water for dispersal  
442 on the short distance by rain splashes, which together with the wind are considered the main  
443 ways of dissemination (Kushalappa & Eskes, 1989; Zambolim et al., 1997). Bock (1962) and  
444 Nutman et al. (1963) observed that for the liberation were necessarily 0.8 millimeters of  
445 water, this occurs after low rainfalls and hours with dew that humidify the leaves for several  
446 hours (Montoya& Chaves, 1974). Guzmán & Gómez (1987) found that a rainfall of 5  
447 millimeters accumulated on the upper face of the sheet will overflow, to the lower face and  
448 would be able to take off the uredospores. On the tree, the plots with 5.25 or less millimeters  
449 of average rainfall were more inductive, this may be relate with the effects by the  
450 phenomenon El Niño. Generally El Niño is associated with less precipitation in Guatemala,  
451 and by an extended period of canicula (a dry period during the wet season) which usually is a  
452 period of 10 days but under these conditions were up to 20 days, there can also be changes at  
453 the start of the rains, and develops cooler weather (Georgiou *et al.*, 2014). This is maybe why  
454 the decision tree shows at lower precipitation more coffee rust severity on the leaves.  
455 However, the rainfall over to 5.25 millimeters also develops a rust epidemic, with lower rate  
456 infection. According to Amador et al. (2013), anomalies were reported on 2012 at the wet  
457 season; the mean precipitation has registered variability on the seasonal and patterns, with  
458 lower amounts; the rainfall is a limiting factor for the germination and influence the spore  
459 dispersion. In regions with annual bimodal distribution of rainfall and with almost continuous  
460 rain without well-defined dry season, the microclimate is the limiting factor or the favorable  
461 condition for the disease increment (Becker-Raterink, 1991). Chalfoun & Lima (1986) founds

462 that under atypical winter, with higher temperatures and rainfall, there is a change in the rust  
463 progress curve, resulting in higher intensity of the disease during this period. Similarly,  
464 Chalfoun et al. (2001) observed that even with fewer an occasional rain this allows the disease  
465 progress with different rate of the disease, and intensity. According to Georgiouet al. (2014),  
466 there is high variability in the precipitation patterns, and variations between the timing of  
467 extreme events at each climate station on the analysis of the weather and climate conditions  
468 related to the outbreak of coffee rust in Guatemala. However, low levels of rain are not  
469 limited to the development of the epidemic, other sources of free water as the dew, can  
470 facilitate the spore germination and the microclimatic conditions (Avelino & Rivas, 2013).

471 Another important cropping practice was the annual physical weeding rounds. By their  
472 nature, weed are competitive plants for the coffee trees in soil moisture, light and nutrients,  
473 the effects on the coffee plants are water stress during dry spells, deficiencies of essential  
474 nutrients and fewer, smaller and poor quality beans (Eschetu & Kebede, 2015). Under warm  
475 wet and humid condition, the prevalence of weeds is all the year, which implicates several  
476 weed control to avoid the fast growing and interference with the coffee plants. According to  
477 Araujo-Junior et al. (2012), the weed management is one of the most intensive and critical  
478 eco-friendly management that range from two to five operations physicals rounds or chemical  
479 per year. Each type of weed management system may cause different effect on the plant and  
480 coffee rust progress; the effects are related to the plant vigor, favorable microclimatic  
481 conditions, prolonged canopy wetness, and low air circulation between the plants. These  
482 conditions are favorable to coffee rust germination, penetration and colonize tissue, and may  
483 also help the spread and create a humid microclimate around the coffee plants, also the  
484 competence reduces the yield and quality bean and the plants are more susceptible to coffee  
485 rust. The elimination of competition from weeds increase production gets better root  
486 distribution and nutrient uptake (Da Silva & Tisdell, 1990). Mechanical controls include weed

487 slashing which is effective for many grass weeds, but the slopes, and quick weed regenerate  
488 sometimes limit this type of control (Kimani et al., 2002). As it is necessary for the weeds to  
489 reach certain height before slashed again, and this turns into unavoidable the soil nutrients  
490 competition until the next round (Da Silva & Tisdell, 1990). The herbicides have a widely  
491 amount of products available, the principal advantage of the herbicide use is the effective and  
492 longer weed control but may cause other problems on the coffee plants physiology. The  
493 combination of the physical and chemical control is based on the weather condition and types  
494 of weed on field. This is related with the fourth level of the tree, where farms that realize one  
495 or non-physical weeding round per year were less inductive to coffee rust. Maybe because of  
496 the number of herbicide spray per year, for most of the plots were three or four applications,  
497 and based on the better weed control of the chemical products this will reduce the favorable  
498 conditions to the disease. Different to the plots where the coffee rust were more inductive, in  
499 these plots the producers realize more than one physical weeding, and two or three chemical  
500 control per year, on locals with more rainfall the weeds grows quickly and the species are  
501 more diverse which reduces succeed of the weed control and is a favorable conditions for  
502 coffee rust.

503 All the effects showed by the multivariate analysis linked the variables to explain and  
504 predict coffee rust attacks. This is an attempt to integrate the crop practices and weather  
505 conditions, for predict coffee rust epidemics. The analysis reaches logical interpretations,  
506 according to the literature; however, to create practical recommendations is required the  
507 determination of production patterns and their epidemic risk (Savary et al., 2000). Based on  
508 previous works of predicting coffee rust developed by Kushalappa and collaborators, the  
509 second tree developed includes the variable of the severity assessed 28 days before of the date  
510 of prognostic. Kushalappa & Eskes (1989) defines the interval before the date of prediction  
511 based on the latency period, they proposes that the proportion of disease on one latency period

512 after the date of prediction is actually the infection rate for an interval of latency period,  
513 which is assumed to be 28 days for the coffee rust. However, the amount of disease is  
514 calculated from inoculum, weather and host data. The disease observed were delayed into 14  
515 days intervals and were evaluated their significance by the Pearson correlation. For the  
516 intervals of 28, 42, and 56 days the coefficients were the same and for the maximum delayed  
517 period of 70 days, the significance of Pearson coefficient correlation decreases, showing the  
518 absence of relationship between the two variables. Based on the Kushalappa & Eskes (1989)  
519 works, were selected the 28-day interval before the date of prediction.

520 On the tree the result were the substitution of some crop coffee variables and the  
521 weather by the coffee rust severity monitoring, this demonstrates that the coffee rust epidemic  
522 depends on the local crop management patterns, more than the climatic conditions because of  
523 their important effects on the microclimate and plant physiology (Avelino et al., 2004).  
524 According to Avelino et al. (2006), the local characteristics specific to each plantation were  
525 particularly well link to the coffee rust epidemics, whereas regional factors such as rainfall  
526 appeared to be of secondary importance. However, there are many nonlinear relationships  
527 between the crop management variables and weather that may not be include on the decision  
528 tree; this shows the importance to include the quantitative analysis to predict the coffee rust.  
529 The quantitative integration may possible using mechanistic models this type of models also  
530 allows understand complex biological progress and variable interactions, for a rational control  
531 strategy.

532 This study is the first approach for understand and predict the coffee rust under the  
533 Guatemala coffee crop conditions. The principal utility of the analysis is to improve control  
534 practices, the scope of recommendations should not be solely site dependent, different  
535 recommendations are needed depending on the technical and biological criteria specific to  
536 each site, that vary over time with changes of farmer cropping practices (Avelino et al., 2004).

537 The decisions trees permits identify the decision frontiers for the explicative variables, and  
538 understand how the relationships aid to predict the coffee severity.

539

## 540 **Acknowledgments**

541

542 To the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Brazil) for  
543 providing a Master Scholarship (PEC-PG 190600/2013-6) awarded to the first author, and the  
544 Asociación Nacional del Café– ANACAFÉ (Guatemala) for providing the financial support  
545 necessary for the development of this work. S. J. Michereff is recipient of CNPq Research  
546 Fellowship.

547

## 548 **References**

549

550 Alves M, Carvalho L, Pozza E, Alves L, 2010. A Soft computing approach for  
551 epidemiological studies of coffee and soybean rusts. *International Journal of Digital*  
552 *Content Technology and its Applications* **4**, 149-154.

553 Amador J, Alfaro E, Calderón B, Durán-Quesada A, Hidalgo H, Rivera I, 2013. Regional  
554 climate Central America and the Caribbean in state of the climate in 2012. *Bulletin of*  
555 *the American Meteorology Society* **94**, S154-S156.

556 Araujo-Junior C, Souza M, Nunes E, Guimarães P, Ajayi A, 2012. Interrelationships among  
557 weed management and coffee plantation and soil physical quality. In: Price A, eds.  
558 *Weed Control*. Rijeka, HRV: InTech, 213-247.

559 Avelino J, Bouvret M, Salazar L, Cilas C, 2009. Relationships between agro-ecological  
560 factors and population densities of *Meloidogyne exigua* and *Pratylenchus coffeae sensu*  
561 *lato* in coffee roots. *Applied Soil ecology* **43**, 95-105.

- 562 Avelino J, Muller R, Eskes A, Santacreo R, Holgin F, 1999. La roya anaranjada del cafeto:  
563 Mito y realidad. In: Bertrand B, Rapidel B, eds. *Desafíos de la Caficultura en*  
564 *Centroamérica*. San José, Costa Rica: CIRAD, IRD, CCCR, IICA, PROMECAFE.
- 565 Avelino J, Savary S, 2002. Rational and optimized chemical control of coffee leaf rust  
566 (*Hemileia vastatrix*). In: Berry D, ed. *Recherche et Caféculture*, Montpellier, France:  
567 CIRAD, 134-143.
- 568 Avelino J, Willocquet L, Savary S, 2004. Effects of crop management patterns on coffee rust  
569 epidemics. *Plant Pathology* **53**, 541-547.
- 570 Avelino J, Zelaya H, Merlo A, Pineda A, Ordoñez M, Savary S, 2006. The intensity of a  
571 coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecological Modelling* **197**,  
572 431-447.
- 573 Avelino J, Cabut S, Barboza B, Barquero M, Alfaro R, Esquivel C, Durand J, Cilas C, 2007.  
574 Topography and crop management are key factors to the development of American leaf  
575 spot epidemics on coffee in Costa Rica. *Phytopathology* **97**, 1532-1542.
- 576 Avelino J, Romero-Guardián A, Cruz-Cuellar H, Declerck F, 2012. Landscape context and  
577 scale differentially impact coffee leaf rust, coffee berry borer, and coffee root-knot  
578 nematodes. *Ecological Applications* **22**, 584-596.
- 579 Avelino J, Rivas G, 2013. La roya anaranjada del cafeto. [[https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01071036)  
580 01071036]. Accessed 08 November 2015.
- 581 Avelino J, Cristancho M, Georgiou S, Imbach P, Aguilar L, Bornemann G, Läderach P,  
582 Anzueto F, Hruska A, Morales C, 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central  
583 America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food*  
584 *Security* **7**, 303-321.
- 585 Baker P, 2014. The “Big Rust”: An update on the coffee leaf rust situation. *Coffee & Cocoa*  
586 *International* **40**, 37-39.

- 587 Becker-Raterink S, 1991. The system *Coffea* sp and *Hemileia vastatrix*. In: Becker-Raterink  
588 S, Moraes W, Quijano-Rico M, eds. *The Coffee Leaf Rust: Knowledge and Control*.  
589 Eschborn, Germany: GTZ, 2-63.
- 590 Bock K, 1962. Seasonal periodicity of coffee leaf rust and factors affecting the severity of  
591 outbreaks in Kenya colony. *Transactions of the British Mycological Society* **45**, 289-  
592 300.
- 593 Burman, P, 1989. A comparative study of ordinary cross-validation, v-fold cross-validation  
594 and the repeated learning-testing methods. *Biometrika* **76**, 503-514.
- 595 Carvalho V, Chalfoun S, 1998. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. *Informe*  
596 *Agropecuário* **19**, 27-35.
- 597 Carvalho V, Chalfoun S, 2001. Comportamento de doenças do cafeeiro em sistema de plantio  
598 adensado. In: *Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil*, 2001. Vitória, Brasil:  
599 Embrapa, p. 1083-1091.
- 600 Chalfoun S, Lima R, 1986. Influência do clima sobre a incidência de doenças infecciosas. In:  
601 *Informe Agropecuário* **12**, 31-36.
- 602 Chalfoun S, Carvalho V, Pereira M, 2001. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso  
603 da ferrugem (*Hemileia vastratrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). *Ciência*  
604 *e Agrotecnologia* **25**, 1248-1252.
- 605 Charrier A, Eskes A, 2004. Botany, Genetics and Genomics of Coffee. In: Wintgens J, ed.  
606 *Coffee: Growing, Processing Sustainable Production. A Guidebook for Growers*  
607 *Processors, Traders and Researchers*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH, p. 25-26.
- 608 Cintra M, Meira C, Monard M, Camagro H, Rodrigues L. The use of fuzzy decision trees for  
609 coffee rust warning in Brazilian crops. In: *International Conference on Intelligent*  
610 *Systems Design and Applications*, 2011. Córdoba, ARG: IEEE, p. 1347-1352.



- 611 Da Silva N, Tisdell C, 1990. Evaluating techniques for weed control in coffee in Papua New  
612 Guinea. *The International Tree Crops Journal* **6**, 31-49.
- 613 Eshetu T, Kebede, T, 2015. Effect of weed management methods on yield and physical  
614 quality of coffee at Gera, Jimma zona, South West Ethiopia. *Journal of Resources*  
615 *Development and Management* **11**, 82-89.
- 616 Eskes A, Toma-Braginhi M, 1982. The effect of leaf age on incomplete resistance of coffee to  
617 *Hemileia vastatrix*. *Journal of Plant Pathology* **88**, 219-230.
- 618 Fayyad U, Piatetsky-Shapiro G, Smyth P, 1996. From data mining to knowledge in databases.  
619 *Artificial Intelligence Magazine* **17**, 37-54.
- 620 Garçon C, Zambolim L, Vale F, Costa H, Silva M, 2000. Progresso da ferrugem (*Hemileia*  
621 *vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes altitudes. In:  
622 *Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil*, Minas Gerais, BR: EMBRAPA, p. 237-240.
- 623 Georgiou S, Imbach P, Avelino J, 2014. An analysis of the weather and climate conditions  
624 related to the 2012 epidemic of coffee rust in Guatemala.  
625 [<http://hdl.handle.net/11554/7222>] Accessed 06 November 2015.
- 626 Gil S, Berry D, Bieyssee D, 1990. Research on incomplete resistance to *Hemileia vastatrix*  
627 Berk et Br. in a group of genotypes of *Coffea arabica* L. from Etiopia. *Café Cacao Thé*  
628 **34**, 105-144.
- 629 Girolamo C, Rodrigues L, Meira C. Modelos de predição da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia*  
630 *vastatrix* Berkeley & Broome) por técnicas de mineração de dados. *Coffee Science* **9**,  
631 408-418.
- 632 Guzmán O, Gomez L, 1987. Permanence of free water on coffee leaves. *Experimental*  
633 *Agriculture* **23**, 213-220.
- 634 International Coffee Organization, 2015. Total production by all exporting countries.  
635 [<http://www.ico.org/prices/po-production.pdf>]. Accessed 08 November 2015.

- 636 Jaramillo-Robledo A, 1994. Aspectos microclimáticos em plantaciones de café (*Coffea*  
637 *arabica* L.) com alta densidade de siembra. In: *Simpósio Internacional sobre Café*  
638 *Adensado*, 1994. Londrina, BR: IAPAR, p. 320.
- 639 Kass G, 1980. An explanatory technique for investigating large quantities of categorical data.  
640 *Applied Statistics* **29**, 119-127.
- 641 Kimani M, Little T, Vos G, 2002. *Introduction to Coffee Management Through Discovery*  
642 *Learning*. Nairobi, Kenya: CABI Bioscience.
- 643 Kohavi, R, 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model  
644 selection. In: *International Joint Conference on Artificial Inteligence*, 1995. Stanford,  
645 USA: AAAI, p. 7.
- 646 Kushalappa A, 1978. Uma escala para estimar a intensidade foliar de ferrugem do cafeeiro.  
647 *Fitopatologia Brasileira* **3**, 119 (Abs.).
- 648 Kushalappa A, Chaves G, 1980. An analysis of the development of coffee rust in the field.  
649 *Fitopatologia Brasileira* **5**, 95-103.
- 650 Kushalappa A, Ludwig A, 1982. Calculation of apparent infection rate in plant diseases:  
651 development of a method to correct for host growth. *Phytopathology* **72**, 1373-1377.
- 652 Kushalappa A, Akutsu M, Ludwig A, 1983. Application of survival ratio for monocyclic  
653 process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. *Phytopathology*  
654 **73**, 96-103.
- 655 Kushalappa A, Akutsu M, Oseguera S, Chaves G, Melles C, Miranda J, Bartolo G, 1984.  
656 Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio  
657 for monocyclic process of *Hemileia vastatrix*. *Fitopatologia Brasileira* **9**, 255-271.
- 658 Kushalappa A, Hernandez T, Lemos H, 1986. Evaluation of simplex and complex coffee rust  
659 forecast to time fungicide application. *Fitopatologia Brasileira* **11**, 515-526.

- 660 Kushalappa A, Eskes A, 1989. Advances in coffee rust research. *Annual Review of*  
661 *Phytopathology* **27**, 503-531.
- 662 Kushalappa A, Eskes A, 1989. *Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management*.  
663 Boca Raton, USA: CRC Press.
- 664 Martins E, Tiburzy R, Moraes W, 1985. Histological studies of compatible and incompatible  
665 interactions of coffee leaves and *Hemileia vastatrix*. *Fitopatologia Brasileira* **10**, 627-  
666 636.
- 667 Matiello J, Almeida S, Paulini A, Miguel A, Guimarães P, 1981. Efeito do espaçamento do  
668 cafezal sobre a incidência de ferrugem e bicho mineiro. In: *Congresso Brasileiro de*  
669 *pesquisas cafeeiras*, 1981. Belo Horizonte, Brazil: IBC-GERCA, p. 13-14.
- 670 McCook S, Vandermeer J, 2015. The big rust and the red queen: long-term perspectives on  
671 coffee rust research. *Phytopathology* **105**, 1164-1173.
- 672 Meira C, Rodrigues L, Moraes S, 2008. Analysis of coffee leaf rust epidemics with decision  
673 tree. *Topical Plant Pathology* **33**, 114-124.
- 674 Montoya R, Chaves G. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e  
675 período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Experientiae* **18**, 239-266.
- 676 Mulinge S, Griffiths E, 1974. Effects of fungicides on leaf rust, berry disease, foliation and  
677 yield of coffee. *Transactions of the British Mycological Society* **62**, 495-507.
- 678 Nutman F, Roberts F, Bock K, 1960. Methods of uredospore dispersal of the coffee leaf rust  
679 fungus, *Hemileia vastatrix*. *Transactions of the British Mycological Society* **43**, 509-  
680 515.
- 681 Nutman F, Roberts F, 1962. Coffee berry disease and leaf rust research. *Kenya Coffee* **27**,  
682 273-279.
- 683 Nutman F, Roberts F, Clarke R, 1963. Studies on the biology of *Hemileia vastatrix* Berk. &  
684 Br. *Transactions of the British Mycological Society* **46**, 27-44.

- 685 Paiva B, Souza P, Salco M, Santos L, 2011. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em  
686 diferentes densidades de plantio pós-poda. *Ciência e Agrotecnologia* **35**, 137-143.
- 687 Pavan M, Chaves J, 1994. Influência da densidade de plantio de cafeeiros sobre a fertilidade  
688 do solo. In: *Simpósio Internacional sobre Café Adensado*, 1994. Londrina, Brazil:  
689 IAPAR, p. 320.
- 690 Phiri N, Hillocks R, Jeffries P, 2001. Incidence and severity of coffee diseases in smallholder  
691 plantations in northern Malawi. *Crop protection* **20**, 325-332.
- 692 Ploetz R, 2007. Diseases of tropical perennial crops: challenging problems in diverse  
693 environments. *Plant Disease* **91**, 644-663.
- 694 Rayner R, 1972. Micología: *Historia y Biología de la Roya del Cafeto*. San José, Costa Rica:  
695 IICA-CATIE.
- 696 Rena A, Nacif A, Pereira A, 1994. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: *Simpósio*  
697 *internacional sobre café adensado*, 1994. Londrina, Brazil: IAPAR, p. 320.
- 698 Rezende F, Caldas A, Scalco M, Alves M, 2014. Índice de área foliar, densidade de plantio e  
699 manejo de irrigação do cafeeiro. *Coffee Science* **9**, 374-384.
- 700 Rivillas C, Serna C, Cristancho M, Gaitan A, 2011. *La roya del cafeto en Colombia –*  
701 *impacto, manejo y costos del control*. Cali, Colombia: CENICAFÉ.
- 702 Savary S, Willocquet L, Elazegui F, Teng P, Van Du P, Zhu D, Tang Q, Huang S, Lin X,  
703 Singh H, Srivastava R, 2000. Rice pest constraints in tropical Asia: characterization of  
704 injury profiles in relation to production situations. *Plant Disease* **84**, 341-356.
- 705 Sutton J, Gillespie T, Hildebrand P, 1984. Monitoring weather factors in relation to plant  
706 disease. *Plant Disease* **68**, 78-84.
- 707 Thamada T, Girolamo C, Meira C, 2013. Sistema de alerta da ferrugem do cafeeiro: resultado  
708 de um processo de mineração de dados. In: *Congresso Brasileiro de Agroinformática*.  
709 Cuiabá, Brasil: UFMT, 5 p.

- 710 Van Diepen M, Franses P, 2006. Evaluating chi-square automatic interaction detection.  
711 *Information Systems* **31**, 815-831.
- 712 Vandermeer J, Jackson D, Perfecto I, 2014. Quality dynamics of the coffee rust epidemic:  
713 Educating the intuition with theoretical ecology. *Bioscience* **64**, 210-218.
- 714 Waller J, 1982. Coffee rust - epidemiology and control. *Crop Protection* **1**, 385-404.
- 715 Waller J, Bigger M, Hiillocks R, 2007. *Coffee pest, diseases and their management*.  
716 Wallingford, UK: CABI.
- 717 Zambolim L, Vale F, Pereira A, Chaves G, 1997. Café (*Coffea arabica* L.), controle de  
718 doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: Vale F, Zambolim, eds. *Controle de*  
719 *Doenças de Plantas: Grandes Culturas*. Viçosa, Brasil: Suprema Gráfica e Editora. p.  
720 83-180.

**Table 1** Locations of Guatemalan coffee plots sampled per region during the survey of the coffee rust in 2013 and 2014

Reg <sup>a</sup>	Year	Code	Alt <sup>b</sup>	Var <sup>c</sup>	PAg <sup>d</sup>	Cag <sup>e</sup>	Spr/P <sup>f</sup>	Dns/Ha <sup>g</sup>	Slp <sup>h</sup>	TyPrn <sup>i</sup>	PrnPAg <sup>j</sup>	AWd <sup>k</sup>	AChm <sup>l</sup>	AFngS <sup>m</sup>
1	2013/14	EEd001	1126	Caturra	15	8	2	4167	15	Selective	2	1	2	3
1	2013/14	EFr001	1130	Catuaí	3	0	1	10000	55	Cycle	4	1	4	3
1	2013/14	NvG001	1162	Bourbon/Caturra	14	9	2	3846	45	Selective	4	1	4	3
1	2014	SnI001	1445	Bourbon	50	8	3	2500	55	Selective	2	1	1	4
1	2014	StC001	783	Caturra	2	0	2	2500	30	Selective	2	1	3	3
2	2013	Hlt002	1208	Bourbon	40	8	2	10000	45	Selective	4	2	2	2
2	2014	LRc002	581	Caturra	2	0	1	5000	15	Selective	2	1	3	3
2	2013	LAd002	1186	Caturra	23	5	2	5000	5	Cycle	5	3	2	3
2	2013/14	StM002	770	Catuaí	2	0	3	10000	25	Block	4	4	3	3
2	2013/14	SJM002	1467	Catuaí	13	4	2	5000	15	Block	5	3	4	4
2	2014	SICh002	1575	Caturra	3	0	2	4167	15	Selective	9	3	0	3
2	2014	CI002	938	Catuaí	3	0	2	5000	20	Cycle	5	2	3	3
3	2013/14	ERn003	1221	Caturra	3	0	3	3460	0	Block	8	1	3	3
3	2013/14	LSd003	1417	Bourbon/Caturra	15	4	3	5000	40	Block	8	4	0	3
3	2014	CBV003	1684	Catuaí	6	0	2	2500	10	Selective	2	1	1	1
3	2014	EPI003	1569	Caturra	6	0	2	2849	15	Block	10	2	0	2
4	2013	ECr004	1628	Catuaí/Caturra	15	4	2	5000	35	Cycle	4	1	0	2
4	2014	EEu004	1759	Catuaí	5	0	3	5000	10	Block	4	2	0	2
4	2013	EPnt004	1378	Catuaí	15	4	2	5000	5	Selective	2	3	0	3
4	2014	ESI004	1335	Bourbon/Caturra	15	2	3	5000	0	Block	2	2	0	2
4	2013/14	ERc004	1024	Caturra	13	3	3	5000	0	Block	4	0	0	3
4	2013/14	EPn004	961	Catuaí/Pacas	3	0	2	5000	10	Selective	2	1	2	2
4	2014	Flp004	1019	Catuaí/Caturra	10	3	3	5000	0	Block	6	1	3	2
5	2013	Hxc005	1600	Caturra/Mundo Novo	34	8	3	10000	20	Selective	4	0	2	1

5	2014	LCn005	1019	Bourbon/Caturra	15	7	3	5000	25	Selective	2	3	0	3
5	2013/14	BAH005	2218	Caturra	4	0	3	10000	40	Selective	6	3	0	3
5	2013	RCr005	1112	Caturra	4	0	3	10000	20	Selective	7	2	0	2
5	2014	PBI005	1616	Caturra/Catuaí/ Villa Sarchí	20	11	3	5000	45	Selective	2	1	0	2
5	2013/14	LPr005	1363	Bourbon/Caturra	6	0	4	10000	25	Selective	2	2	0	2
6	2013/14	MM006	433	Caturra/Catuaí	9	3	2	10000	25	Selective	6	3	2	3
6	2013/14	NA006	969	Caturra	3	0	2	10000	30	Selective	7	3	1	2
6	2013/14	StI006	1405	Caturra	19	4	3	10000	20	Cycle	5	6	2	3
6	2013/14	Sph006	979	Catuaí	2	0	2	5000	5	Block	8	2	2	3
7	2013/14	EBn007	1506	Catuaí/Catimor	8	0	2	5000	45	Selective	4	1	2	4
7	2013/14	ECz007	910	Catuaí/Catimor	11	3	2	5000	40	Selective	4	1	2	3
7	2013/14	ECs007	1254	Catuaí/Catimor	6	0	2	5000	45	Selective	12	3	0	3
7	2014	ESh007	1014	Caturra	15	7	2	5000	60	Selective	8	3	0	3
7	2014	Lqd007	924	Catuaí	8	0	2	5000	45	Selective	8	1	3	4

<sup>a</sup>Reg=region

<sup>b</sup>Alt= altitude

<sup>c</sup>Var=variety

<sup>d</sup>PAG=plant age

<sup>e</sup>CAG=cut down plant age

<sup>f</sup>Spr/P=sprout per plant

<sup>g</sup>Dns/Ha=density plant per hectare

<sup>h</sup>Slp=slope

<sup>i</sup>TyPrn=type of pruning

<sup>j</sup>PrnAg=Pruning plant age

<sup>k</sup>AWd=annual physical weeding rounds

<sup>l</sup>AChm=annual chemical weeding rounds

<sup>m</sup>AFngS=annual fungicide spray.

**Table 2** Crop management descriptors of the plots monitored in the survey on coffee rust

<b>Variable description</b>	<b>Code</b>	<b>Unit</b>
Variety	Var	-
Plant age	PAG	Year
Cut down plant age	CAG	Year
Distance rows	DRw	Meters
Distance plants	DP	Meters
Coffee plants per hole	P/Ho	Plants
Sprouts per plant	Spr/P	-
Coffee tree density per hectare	Dns/Ha	Plants/hectare
Slope	Slp	Percentage
Annual soil fertilizations	AnSF	-
Annual foliar fertilizations	AnFF	-
Material for soil improvement	MtSI	-
Type of coffee tree pruning	TyPrn	Cuts
Pruning plant age	PrnPAG	Year
Annual physical weeding rounds	AWd	Cuts/year
Annual chemical weeding rounds	AChm	Spray/year
Fungicide type by active ingredient	FngIA	-
Annual fungicide spray	AFngS	Spray/year
Shade species	ShSp	-
Shade percentage	ShPrc	Percentage
Annual shade pruning	AnShPrn	Cuts/year
Production per plant	PPrd	Kilograms



**Table 3** Environmental descriptors of the plots monitored in the survey on coffee rust

<b>Variable description</b>	<b>Code</b>	<b>Unit</b>
Average rainfall at infectious period	AVGRF_INFP	Millimeters
Accumulated rainfall at infectious period	ACMRF_INFP	Millimeters
Total evenings hours with relative humidity at 95% at infectious period	NHNRH95_INFP	-
Total daily hours with relative humidity at 95% at infectious period	NHRH95_INFP	-
Average temperature on evenings hours with relative humidity at 95% at infectious period	THNRH95_INFP	Celsius
Average temperature on daily hours with relative humidity at 95% at infectious period	THRH95_INFP	Celsius
Maximum temperature at infectious period	TMAX_INFP	Celsius
Average temperature at infectious period	TAVG_INFP	Celsius
Minimum temperature at infectious period	TMIN_INFP	Celsius
Average relative humidity at infectious period	RH_INFP	Percentage

**Table 4** Description of variables characterizing the coffee rust epidemic

Variable	Pearson correlation coefficient		N <sup>a</sup>	Mean	Range of values	Skewness coefficient	Kurtosis coefficient
	Incidence	Severity Proportion					
Incidence	1.00	0.93	1215	32.26	0.00 - 100.00	0.87	-0.016
Severity Proportion	**	1.00	1215	0.10	0.00 - 0.6800	1.83	3.68

<sup>a</sup>N=total observations.

**Table 5** Description and relationship between coffee rust severity proportion observed and coffee rust severity delayed 14, 28, 42, 56, and 70 days interval before de date prediction

Variable	Means	Std.Dev. <sup>g</sup>	CRSa <sup>a</sup>	14day <sup>b</sup>	28day <sup>c</sup>	42day <sup>d</sup>	56day <sup>e</sup>	70day <sup>f</sup>
CRSa <sup>a</sup>	10.76	9.88	1	0.78*	0.69*	0.64*	0.61*	0.47*
14day <sup>b</sup>	10.28	9.78	**	1	0.79*	0.69*	0.64*	0.6*
28day <sup>c</sup>	9.79	9.58	**	**	1	0.79	0.69*	0.63*
42day <sup>d</sup>	9.34	9.43	**	**	**	1	0.8*	0.68*
56day <sup>e</sup>	8.92	9.33	**	**	**	**	1	0.79*
70day <sup>f</sup>	8.45	9.05	**	**	**	**	**	1

\* Marked correlations are significant at  $P < 0.0100$ ; N=1215

<sup>a</sup>CRSa=coffee rust severity proportion

<sup>b</sup>14day=14 days before date of prediction

<sup>c</sup>28day=28 days before date of prediction

<sup>d</sup>42day=42 days before date of prediction

<sup>e</sup>56day=56 days before date of prediction

<sup>f</sup>70day=70 days before date of prediction

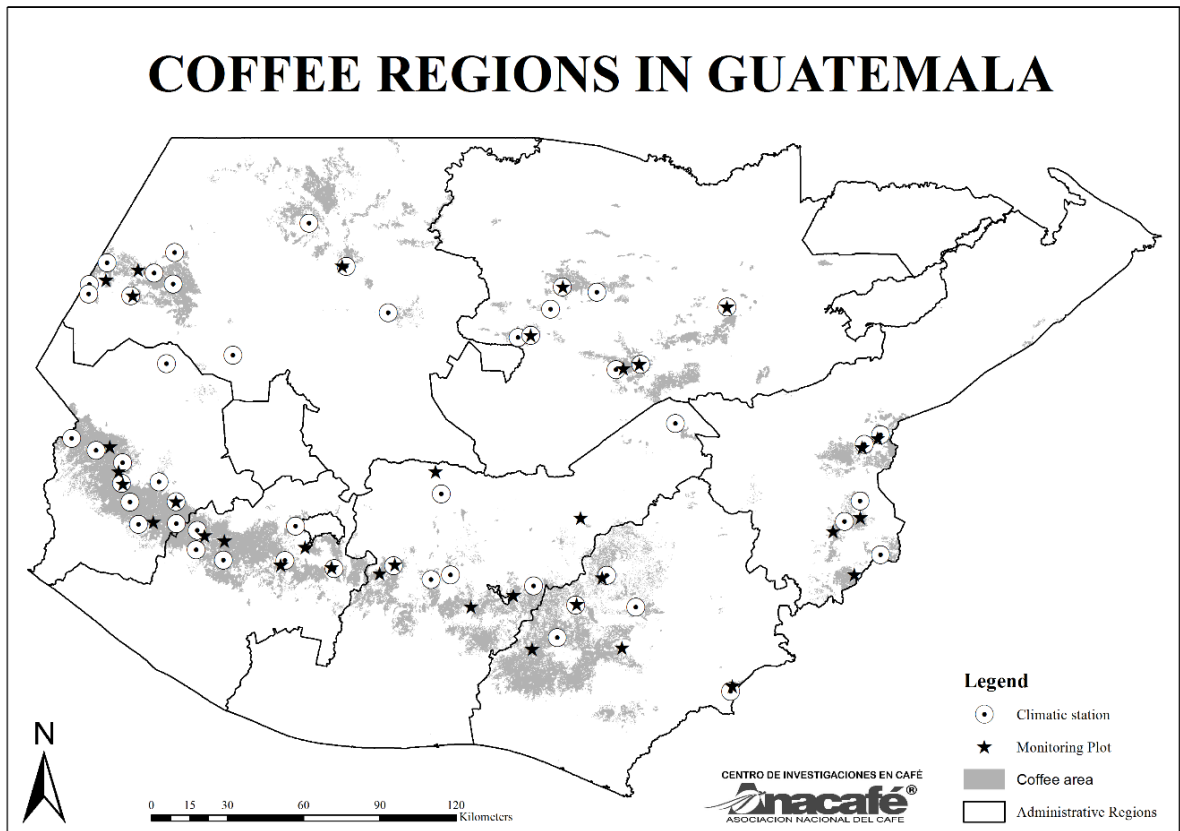
<sup>g</sup>Std.Dev.=standard deviation.

**Table 6** Description of the terminal nodes for the coffee tree of the non-monitoring plots













Node ID	Size Node	Mean	Variance
4	240	9.5367	110.4000
5	139	5.8013	109.2500
8	141	2.4536	61.2400
20	170	15.4640	14.6400
21	141	23.2642	39.6200
10	316	22.5624	47.7000
11	68	24.3051	126.6381

**Table 7** Description of the terminal nodes for the coffee tree of the non-monitoring plots

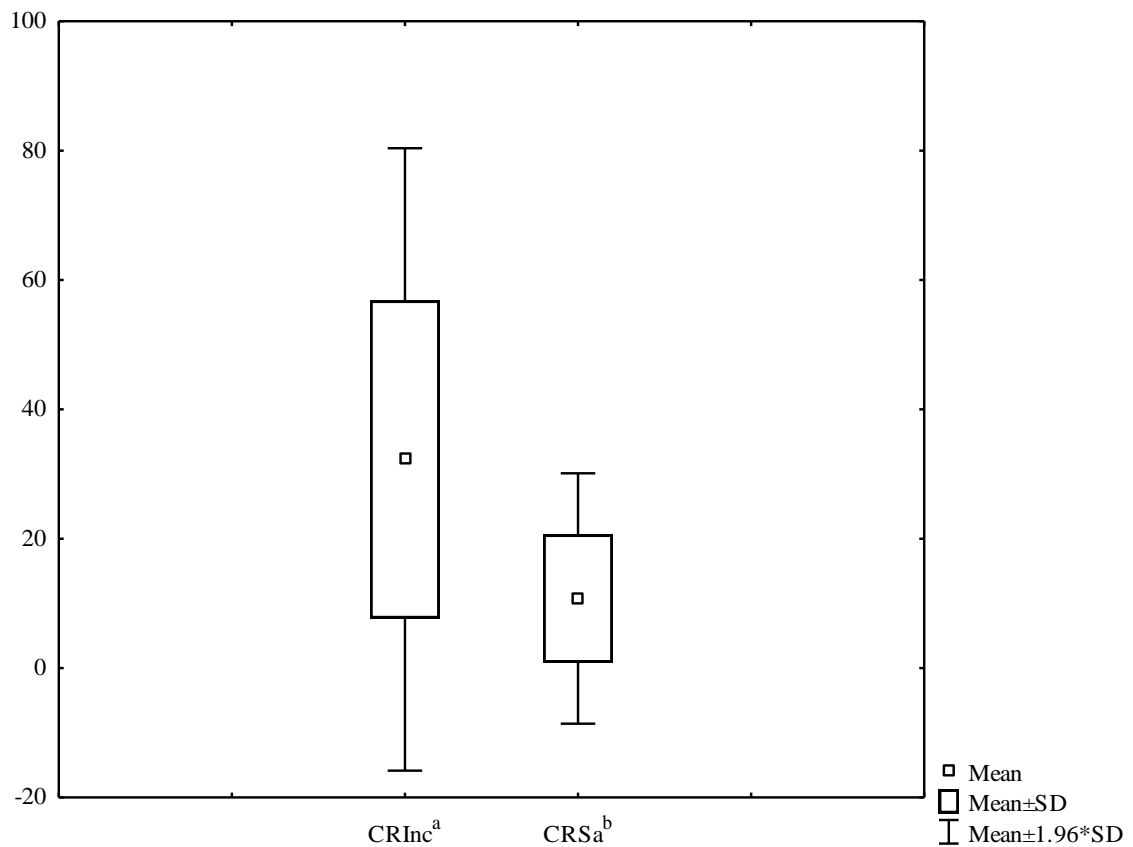
Node ID	Size Node	Mean	Variance
4	180	7.5900	53.7600
5	199	19.7700	148.6200
8	238	5.0800	25.7200
9	214	9.3100	49.1400
12	123	5.3300	33.9100
13	193	11.6800	40.9300
11	68	24.3051	126.6381



**Figure 1** Administrative regions of Guatemalan coffee production, and location of coffee plots sampled per region (★), and location of climatic stations per region (⊙), during the survey of coffee rust in 2013-2014.

<p><b>Level 1</b> <b>Health</b></p>		
<p><b>Level 2</b> <b>0.1 – 0.9%</b></p>		
<p><b>Level 3</b> <b>1.0 – 5.0%</b></p>		
<p><b>Level 4</b> <b>5.1 – 15%</b></p>		
<p><b>Level 5</b> <b>15.1 – 45%</b></p>		
<p><b>Level 6</b> <b>45.1 – &gt;70%</b></p>		

**Figure 2** Diagrammatic scale of the severity of coffee rust in coffee tree



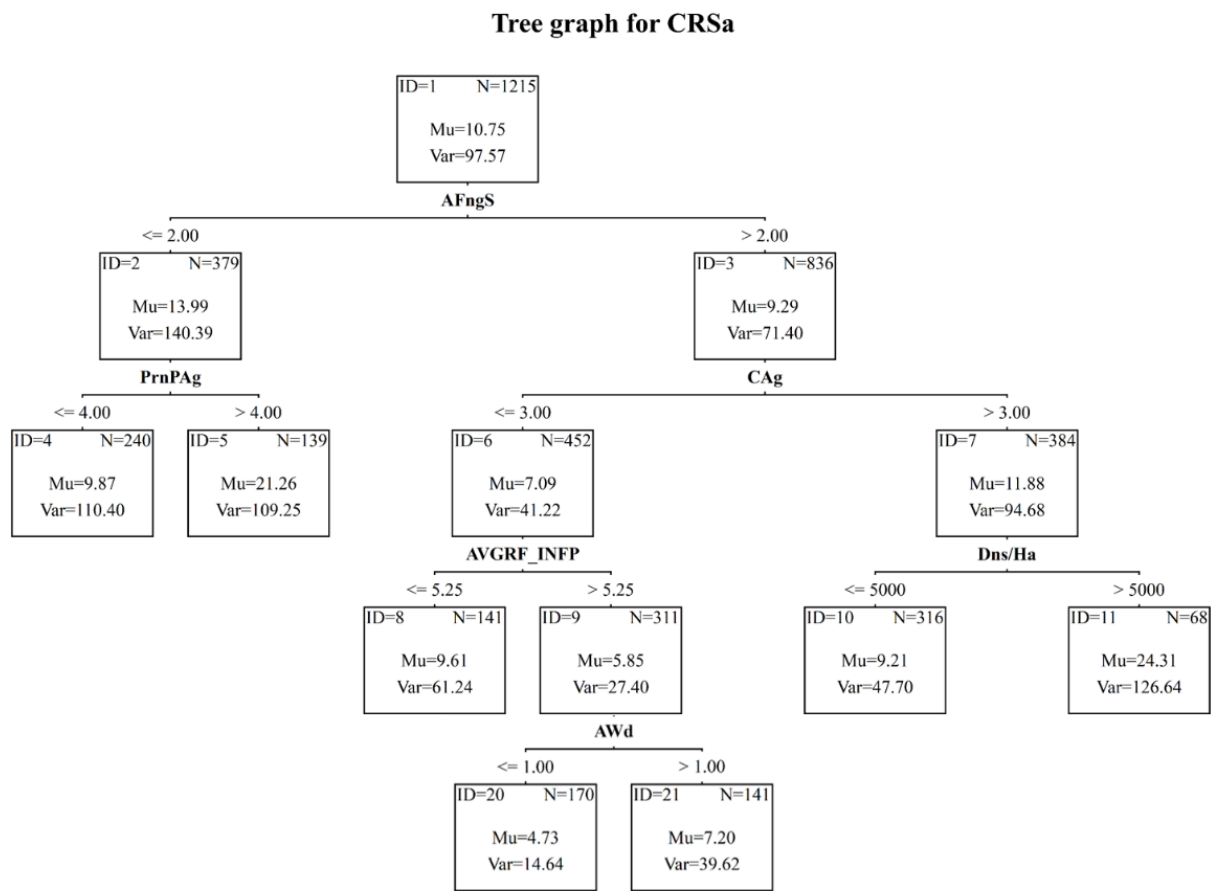
<sup>a</sup>CRInc = Coffee rust incidence on the branch

<sup>b</sup>CRSa = Coffee rust synthetic severity proportion on the branch

SD = Standard deviation

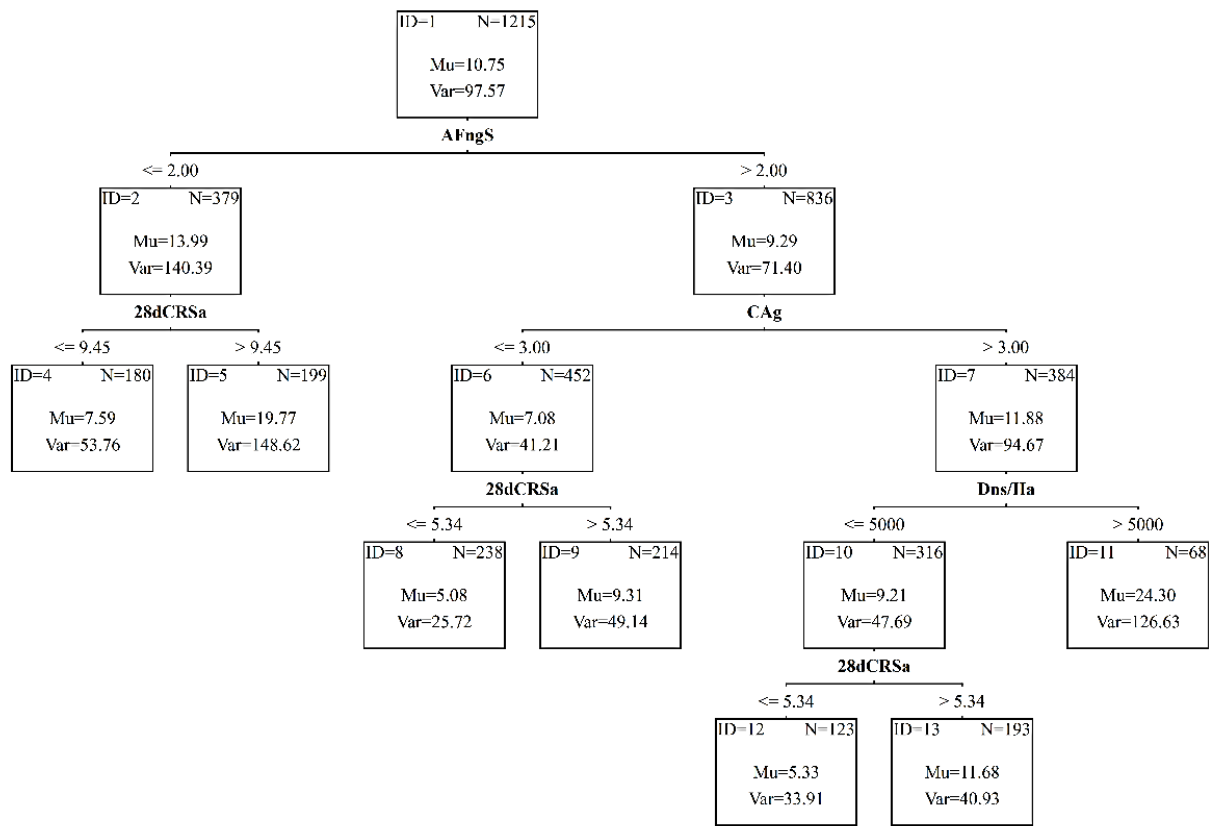
**Figure 4** Box plot of coffee rust percentage as influenced by fortnightly following defined by the percentage of leaf with rust (CRInc) and synthetic severity proportion (CRSa) by lateral branch.





**Figure 4** Decision tree obtained by the CHAID method, explaining the coffee rust severity proportion (CRSa), with the management and environmental predictors. *Mu* = average severity proportion, *Var*= variance, *N*=number of observations in the node. AFngS = annual fungicide spray, PrnPAg = pruning plant Age, CAg = cut down plant age, AVGRF\_INFP = average rainfall on the infectious period, Dns/Ha = density plantation per hectare, AWd = annual physical weeding rounds.

Tree graph for CRSa\_28d DP



**Figure 5** Decision tree obtained by the CHAID method, explaining the coffee rust severity proportion (CRSa), with the coffee rust severity proportion assessed 28 day before the date of prediction, management, and environmental predictors. *Mu* = average severity proportion, *Var*= variance, *N*=number of observations in the node. AFngS = annual fungicide spray, CAg = cut down plant age, Dns/Ha = density plantation per hectare, 28dCRSa = coffee rust severity 28 day before the date of prediction.

## **Conclusões Gerais**

---

## CONCLUSÕES GERAIS

1. O progresso da ferrugem do cafeeiro nas lavouras da Guatemala é influenciado principalmente pelo número de aplicações de fungicida no ano e pela arquitetura da planta que propicia microambientes favoráveis.
2. A ferrugem do cafeeiro nas lavouras da Guatemala é influenciada principalmente pelas variáveis de manejo da lavoura de café, comparadas com as variáveis climáticas, que mostraram ser importantes em condições microclimáticas.
3. As árvores de decisão desenvolvidas neste trabalho são a primeira experiência para entender o progresso da ferrugem do cafeeiro na Guatemala e servem para o direcionamento das pesquisas sobre práticas de manejo visando o controle da doença.