

**APLICAÇÃO DE BORO E FERRO NO CRESCIMENTO INICIAL
PÓS-PLANTIO DE *Gmelina arborea* E *Pachira quinata* NO CARIBE
COLOMBIANO**

JORGE LUIS ROMERO FERRER

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2013**

**APLICAÇÃO DE BORO E FERRO NO CRESCIMENTO INICIAL
PÓS-PLANTIO DE *Gmelina arborea* E *Pachira quinata* NO CARIBE
COLOMBIANO**

JORGE LUIS ROMERO FERRER

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (CCTA/UENF), como parte das exigências do curso de Doutorado em Produção Vegetal”.

Orientadora: Prof^a. DEBORAH GUERRA BARROSO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 009/2013

Romero Ferrer, Jorge Luis

Aplicação de boro e ferro no crescimento inicial pós-plantio de *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* no Caribe colombiano/ Jorge Luis Romero Ferrer. – 2013.

94 f. : il.

Orientador: Deborah Guerra Barroso

Tese (Doutorado - Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.

Bibliografia: f. 67 – 85.

1. *Pachira quinata* 2. *Gmelina arborea* 3. Nutrição mineral 4. Boro 5. Ferro I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD –634.95

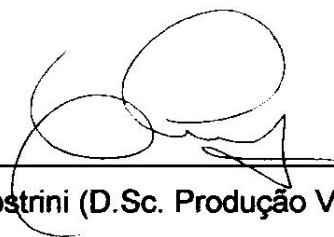
**APLICAÇÃO DE BORO E FERRO NA FASE INICIAL PÓS-PLANTIO
DE *Gmelina arborea* E *Pachira quinata* NO CARIBE COLOMBIANO**

JORGE LUIS ROMERO FERRER

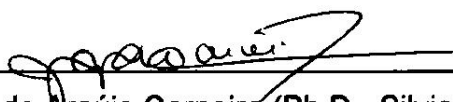
“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutorado em Produção Vegetal”.

Aprovada em 28 de Fevereiro de 2013

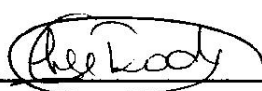
Comissão Examinadora:



Prof. Eliemar Campostrini (D.Sc. Produção Vegetal) - UENF/CCTA



Prof. José Gerardo de Araújo Carneiro (Ph D.- Silvicultura) – Assessor do Polo de
Excelência em Florestas- SIF/UFV.



Prof.ª Luciana Aparecida Rodrigues (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF



Prof.ª Deborah Guerra Barroso (D.Sc. Produção Vegetal) - UENF
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida;

A meus pais Eloisa e José Ramon (*In Memoriam*), pelo exemplo de superação;

A meus filhos Jorge Enrique e Angel Gabriel, por ser meu incentivo nesta vida;

A meus irmãos Carlos, Ramon, Rocio, Marta, Silvana e Carmen, assim como a toda minha família pela compreensão e apoio incondicional;

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Ministério de Agricultura e Desenvolvimento Rural (MADR) da Colômbia, pelo apoio fundamental para realização da pesquisa;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro;

A CORPOICA, pela confiança e oportunidade de realizar mais um objetivo;

A PIZANO S.A e a Monterrey Forestal, ao doutor Miguel Rodriguez, e à engenheira florestal Diana Pérez, pelo apoio para a realização do trabalho de pesquisa;

À Professora Deborah Guerra Barroso, pela oportunidade, ensinamentos, disponibilidade e orientação fundamental para concretização dessa conquista;

Ao Prof. Eliemar Campostrini, por minha formação acadêmica e apoio irrestrito;

Aos Professores Gerardo Gravina e José Thiebaut, pela contribuição na análise estatística dos dados;

Ao professor José Geraldo Carneiro, pelos conhecimentos transmitidos, aportes na correção e por sua sincera amizade;

A Yesenia, por seu apoio, carinho e compreensão neste processo;

A Professora Virginia, Professor José Thiebaut, Claudia Pombo, Senhora Isadelma, Mirinha, Jacinto, Héctor, Diana, Mauricio e Validoro, pela amizade conquistada ao longo desse período;

Aos meus amigos de república, Denilson, João e Geraldo, pela compreensão, companheirismo e amizade no dia a dia;

Ao amigo Marcelo Siqueira, pela amizade sincera e a todos os outros que sempre me ajudaram e incentivaram nos momentos difíceis;

Aos colegas da CORPOICA, Jhon Jairo, Milton, Vicky, Fulgencio, Cesar, Judith, Joaquin, Emel, Braulio, Margarita e Jorge Cadena, pela amizade e incansável ajuda em todas as etapas de execução do trabalho;

Aos amigos Alfredo Jarma da UNICOR e Pluvio Otero de FENALCE, pela ajuda com o empréstimo dos equipamentos de fisiologia vegetal;

A todos que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho pudesse ser concluído.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS	XII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. ESPÉCIES ESTUDADAS	3
2.2. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO DO CARIBE COLOMBIANO.....	5
2.3. NUTRIÇÃO MINERAL DE ESPÉCIES FLORESTAIS	6
2.4. BORO E FERRO	7
2.5. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS.....	14
2.5.1. Índice de verde na folha (SPAD) e teor de clorofila	14
2.5.2. Fotossíntese	16
2.5.3. Eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. LOCALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	22
3.2. IMPLANTAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	23
3.3. AVALIAÇÕES	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS	28
4.1.1. <i>Pachira quinata</i>	28

4.1.2. <i>Gmelina arborea</i>	30
4.2. ANÁLISES NUTRICIONAIS	32
4.2.1. <i>Pachira quinata</i>	33
4.2.2. <i>Gmelina arborea</i>	43
4.3. CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS.....	55
4.3.1. <i>Taxa fotossintética líquida, transpiração, condutância estomática, déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, clorofila total e índice de cor verde na folha</i>	55
4.3.2. <i>Eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água, relações taxa fotossintética com o déficit de pressão de vapor folha-ar e clorofila total com a intensidade de cor verde na folha</i>	58
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	67
APÊNDICE.....	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Análise química do solo, de 0 a 20 cm de profundidade, antes de estabelecimento dos experimentos com <i>Gmelina arborea</i> e <i>Pachira quinata</i> , na estação de Monterrey Forestal, localizada em Zambrano, Bolívar-Colômbia.....	24
Tabela 2: Tratamentos aplicados nas espécies <i>Gmelina arborea</i> e <i>Pachira quinata</i> , em plantio realizado na estação de Monterrey Forestal, localizada em Zambrano, Bolívar- Colômbia, no primeiro e segundo anos após o plantio das mudas no campo.....	25
Tabela 3: Altura (H1 e H2) no primeiro e segundo ano após plantio e diâmetro a altura do peito (DAP), volume (Vol) e massa seca (MS) dois anos após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia	30
Tabela 4: Altura (H1 e H2), no primeiro e segundo ano após plantio, e volume (Vol) e massa seca (MS) de madeira, estimado aos dois anos após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	31
Tabela 5: Contrastes do diâmetro a altura do peito (DAP) dois anos após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	31
Tabela 6: Teores foliares de nitrogênio (N), Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe) no primeiro ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo	

submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	33
Tabela 7: Contrastes dos teores foliares de fósforo (P), sódio (Na), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) no primeiro ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	35
Tabela 8: Contrastes dos teores foliares de potássio (K) e boro (B) no primeiro ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	36
Tabela 9: Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), Cálcio (Ca), sódio (Na), ferro (Fe), cobre (Cu) e boro (B) no segundo ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	37
Tabela 10: Contrastes dos teores foliares de potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn) e zinco (Zn) no segundo ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	39
Tabela 11: Análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), enxofre (S), condutividade elétrica (C.E.), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) no primeiro ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	40
Tabela 12: Contrastes dos teores disponíveis de manganês (Mn) no solo, no primeiro ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	41
Tabela 13: Análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), condutividade elétrica (C.E.), manganês (Mn), cobre (Cu) e boro (B), no segundo ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	41
Tabela 14: Contrastes da análise do solo de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe) e zinco (Zn) no segundo ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	42
Tabela 15: Teor foliar de nitrogênio (N) no primeiro ano após plantio de	

<i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	43
Tabela 16: Contrastes dos teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), no primeiro ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	45
Tabela 17: Contrastes dos teores foliares de ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no primeiro ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	46
Tabela 18: Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e sódio (Na), no segundo ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	47
Tabela 19: Teores foliares de ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no segundo ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	48
Tabela 20: Contrastes da análise foliar de magnésio (Mg), no segundo ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	48
Tabela 21: Análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), condutividade elétrica (C.E.), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no primeiro ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	51
Tabela 22: Contrastes dos teores de cálcio (Ca) no solo, no primeiro ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	52
Tabela 23: Análise de solo do cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na), condutividade elétrica (C.E.), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no segundo ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	53
Tabela 24: Contrastes da análise de solo do potencial de hidrogênio (pH),	

matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe) e enxofre (S) no segundo ano após plantio de <i>Gmelina arborea</i> , cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	54
Tabela 25. Taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$), Clorofila total (Clor tot) e Índice de cor verde na folha (SPAD), no segundo ano após plantio de <i>Pachira quinata</i> e <i>Gmelina arborea</i> , cultivadas em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura1: Dados climáticos de temperaturas máximas, mínimas e médias (T Max, T Mn e T média), umidade relativa do ar (UR) e precipitação durante o período do experimento e precipitação total anual dos anos 2009, 2010 e 2011. Tomados na estação experimental de Monterrey Forestal, localizada em Zambrano, Bolívar- Colômbia.	23
Figura 2: Eficiência do uso da água (EUA), medida pela correlação entre fotossíntese e transpiração (A/E), em <i>Gmelina arborea</i> e <i>Pachira quinata</i> dois anos após plantio, cultivadas em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.	59
Figura 3: Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), medida pela correlação entre fotossíntese e condutância estomática (A/g _s), em <i>Gmelina arborea</i> e <i>Pachira quinata</i> dois anos após plantio, cultivadas em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.	60
Figura 4: Eficiência do uso da água (EUA) em <i>Gmelina arborea</i> dois anos após plantio e cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.	61
Figura 5: Eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) em <i>Gmelina arborea</i> , dois anos após plantio, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.	63
Figura 6: Relação da taxa fotossintética (A) com o déficit de pressão de vapor folia-ar (DPV _{folha-ar}) em <i>Gmelina arborea</i> , dois anos após plantio, cultivada em	

solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar-Colômbia.	64
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS

A= Fotossíntese líquida

AIA= ácido indol acético

Alt= altura da planta (idem, *H1* e *H2*)

ATP= Adenosina trifosfato

°C= Grau centígrado

CATIE= Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

C_i= concentração interna de CO₂

Clor tot= teor de clorofila total

CO₂ = Dióxido de Carbono

CONIF= Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal

CORMAGDALENA= Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena

Corpoica= Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

DAP= Diâmetro a altura do peito

DPV_{folha-ar}= Déficit de pressão de vapor folia-ar

E= Transpiração

E_{IUA}= Eficiência intrínseca do uso da água ou eficiência da transpiração (*A/E*)

ETR= Taxa de transporte de elétrons

E_{UA}= Eficiência do uso da água (*A/g*)

FAO= Organização das Nações Unidas para a Agricultura

Fe²⁺ = Ion ferroso

Fe^{3+} = Ion férrico
FeDDHA= Quelato férrico
FFF= Fluxo de fótons fotossintéticos
 F'_v/F'_m = captura de energia por centros reação abertos do PS II
 F_v/F_m = rendimento quântico máximo do PS II
G. arborea= *Gmelina arborea*
 g_s = condutância estomática
 H_2O_2 = Peróxido de hidrogênio
 H_3BO_3 = Ácido bórico
ICA= Instituto Colombiano de agricultura
 K_2O = Oxido de potássio
M.O= matéria orgânica
MADR= Ministério de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia
MPa= Mega pascal
MPC= Medidor portátil de clorofila
MS= Massa seca
MSPA= Massa seca da parte aérea
MSR= Massa seca da raiz
MST= Massa seca total
NADPH= Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato
 OH^\cdot = radical hidroxilo
 P_2O_5 = Pentóxido de fósforo
P. quinata= *Pachira quinata*
pH= Potencial de hidrogênio
PSII= Fotossistema 2
 Q_A .= Quinona A
qN= *quenching* fotoquímico
RuBP= Ribulosa 1,5 bi fosfato
SINCHI= Instituto Amazonico de Investigación
SPAD= Índice de cor verde da folha ou índice SPAD
T Max= Temperatura máxima
T média= Temperatura média
T Mn= Temperatura mínima
UR= umidade relativa do ar

Vol= volume de madeira

Φ PSII= rendimento quântico do fotossistema 2

ψ = potencial hídrico da folha

RESUMO

ROMERO, F., Jorge Luis; D.Sc.. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fevereiro de 2013. Aplicação de boro e ferro no crescimento inicial pós-plantio de *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* no caribe colombiano. Orientadora: Prof^a. D.Sc. Deborah Guerra Barroso. Coorientador: Prof. D. Sc. Eliemar Campostrini

Os vertissolos na região do Caribe Colombiano apresentam características que podem afetar a assimilação de B e Fe por espécies florestais, tais como valores elevados de pH superiores a 6,8, altos teores de Ca e Mg e conteúdo de argilas tipo 2:1, acima de 30%. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de B e Fe nos primeiros dois anos após o plantio de *Gmelina arborea* Roxb. e *Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson, em vertissolo do Caribe Colombiano. Foi conduzido um experimento por espécie, para avaliação da dosagem de B e Fe na adubação de implantação. Foram testadas 10 diferentes combinações destes nutrientes e avaliados os teores nutricionais das folhas e solo, altura, diâmetro a altura do peito (DAP), estimativa de volume e massa seca da parte aérea, assim como, índice SPAD, teor de clorofila e trocas gasosas. Os resultados mostraram que não houve influência dos tratamentos sobre a altura, DAP, volume e massa seca da parte aérea, para as duas espécies estudadas nos dois anos após plantio. As análises foliares indicam que os conteúdos de nutrientes no solo foram suficientes para as necessidades nutricionais das espécies. Nas duas espécies o índice de cor verde (SPAD) e o teor de clorofila total não foram influenciados pelos tratamentos avaliados. Na *P. quinata* não

houve efeito dos tratamentos sobre nenhuma das variáveis fisiológicas avaliadas. Já na *G. arborea* as plantas que receberam B ou a mistura do B+Fe apresentaram maior taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração, com relação à testemunha. A espécie *P. quinata* mostrou-se superior na eficiência do uso da água e na eficiência intrínseca do uso da água, quando comparada com a *G. arborea* aos dois anos após plantio.

ABSTRACT

The vertisol in the Colombian Caribbean region have characteristics that may affect the assimilation of Fe and B for forest species, such as high pH values higher than 6.8, high levels of Ca and Mg content of 2:1 type clays above 30%. This study aimed to evaluate the effect of different doses of B and Fe in the first two years after planting *Gmelina arborea* Roxb. and *Pachira quinata* (Jacq.) W.S. Alverson, vertisols in the Colombian Caribbean. One experiment was conducted by species to assess dosage of B and Fe fertilization implantation. Ten different combinations of these nutrients were tested and evaluated the nutritional content of the leaves and soil, height, diameter at breast height (DBH), estimation of volume and dry mass of shoots and, SPAD index, chlorophyll and gas exchange. The results showed that there was no effect of treatments on height, DBH, volume and dry mass of shoots for the two studied species in the two years after planting. The foliar analyzes indicate that nutrient content in the soil were sufficient to the nutritional needs of the species. In both species the green color index (SPAD) and total chlorophyll content were not affected by treatments. In *P. quinata* there was no treatment effect on any of the physiological assessed variables. Already in *G. arborea* plants that received the mixture of B or B+Fe showed higher photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration in relation to the control. The *P. quinata* species was superior in efficiency of use of water and the intrinsic efficiency of use of water, compared to *G. arborea* two years after planting.

1. INTRODUÇÃO

Na Colômbia, as espécies *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* vêm se destacando no uso industrial, para móveis de qualidade, chapas, contrachapas, conglomerados e molduras, entre outros usos (Zuluaga et al., 2010). Estas espécies se adaptam às condições edafoclimáticas do Caribe Colombiano e foram priorizadas pelos planos de desenvolvimento e pela Corporação Autônoma Regional do Rio Grande de La Magdalena - CORMAGDALENA (CONIF, 2003a).

A *G. arborea* e a *P. quinata* apresentam alto potencial de crescimento no campo, adaptação às condições edafoclimáticas diferentes, alta produtividade e qualidade de sua madeira para os processos industriais (CATIE, 1991; Rojas e Murillo, 2004). Devido à sua exploração nos países de origem, a *P. quinata* encontra-se ameaçada de extinção, sendo priorizada por geneticistas florestais em pesquisas, avaliação e conservação genética tanto *in situ* quanto *ex situ* (FAO, 1993; Llamozas et al., 2003; SINCHI, 2006). Adicionalmente, é necessário desenvolver pesquisas que permitam fortalecer a atividade florestal, com foco em espécies de rápido crescimento e alta qualidade da madeira.

A Colômbia conta com uma extensão territorial de 114 milhões de hectares, dos quais 17,2 milhões apresentam potencial para o desenvolvimento de projetos florestais. Destes 12,1 milhões apresentam restrições de uso e o restante (5,1 milhões de ha) são terras sem restrições, não exigindo grande adequação de solos para o cultivo e implantação de projetos florestais.

Entretanto, apenas cerca de 1,5% dos 17,2 milhões de ha (253.066 ha) estão sendo utilizados em plantações (MADR, 2009).

Segundo Jaramillo (2002), a Região do Caribe e a sub-região do Médio Magdalena apresentam como principais limitações para o uso agropecuário dos solos: clima seco; baixa porcentagem de matéria orgânica; solos salinos; alta susceptibilidade à erosão e camadas de impedimento mecânico; pH elevado; alta porcentagem de argila 2:1; alta saturação por bases e teores de Ca e Mg, que podem provocar antagonismo com K, Fe, B e Zn; além de baixos teores de B.

A deficiência de B nas plantas se caracteriza pela paralisação do crescimento dos tecidos meristemáticos da parte aérea e das raízes, sendo necessário contínuo suprimento para a manutenção da atividade nestes tecidos (Filho, 2006). Já a deficiência de Fe pode ser causada pelo excesso de P no solo, pH elevado, altas doses de calcário, baixas temperaturas no solo, altos níveis de bicarbonato e baixos níveis de matéria orgânica (Kiehl, 1985). No entanto, sabendo-se do problema que apresentam os solos na região do Caribe Colombiano, não há informações sobre a resposta de *G. arborea* e *P. quinata* à adubação com B e Fe.

A falta de conhecimento e de pesquisas com algumas espécies de rápido crescimento na Colômbia faz com que, mesmo com o clima favorável, o valor da terra e o custo da mão de obra baixo, não sejam suficientes para a implantação de florestas (Espinal et al., 2005).

Dentro deste contexto, este projeto teve como objetivo geral avaliar os efeitos da adubação com B e Fe, durante os dois primeiros anos após o plantio de *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* no Caribe Colombiano.

Objetivos específicos:

Avaliar o crescimento inicial de *G. arborea* e *P. quinata*, adubadas com diferentes níveis de B e Fe, durante os dois primeiros anos após o plantio;

Avaliar os teores nutricionais de *G. arborea* e *P. quinata*, de povoamentos adubados com diferentes níveis de B e Fe, nos dois primeiros anos após o plantio;

Avaliar a resposta fisiológica de *G. arborea* e *P. quinata*, de povoamentos adubados com diferentes níveis de B e Fe, aos dois anos após o plantio.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Espécies estudadas

A *Gmelina arborea* Roxb., espécie da família Verbenaceae, originária da Índia e Ásia tropical, foi introduzida com êxito em países como Costa Rica, Panamá, Venezuela e Colômbia. Adapta-se melhor a áreas de florestas tropicais, em altitudes de 0 a 700 m (Murillo e Valerio, 1991; Rojas e Murillo, 2004). É uma espécie florestal com alta taxa de crescimento e capacidade de rebrota excelente. Em sítios secos, pode chegar a 30 m de altura e apresentar mais de 80 cm de diâmetro. Cresce usualmente com uma haste limpa de 6 a 9 m, com copa cônica (Rojas e Murillo, 2004) e sua madeira possui uma densidade de 0,35 a 0,5 g cm⁻³ (Moya e Tomazello, 2007).

Na região do Caribe Colombiano, a rotação de *G. arborea* é de 12 anos, apresentando produção de 150 a 220 m³ ha⁻¹ de madeira sem casca. Este volume representa uma produtividade média anual de 15 m³ ha⁻¹. O modelo de manejo silvicultural desta espécie permite que, aproximadamente, 30% das 1.100 árvores ha⁻¹ iniciais sejam extraídas durante o desbaste, podendo-se realizar de um a dois, conforme o desenvolvimento do povoamento (PIZANO S.A., 2009).

As boas propriedades físicas e mecânicas, bem como a diversidade de uso da madeira, oferecem amplas possibilidades para a indústria. Sua casca é lisa ou escamosa, de cor marrom pálida ou cinzenta. Sua madeira é leve, de alto brilho e de aparência suave e sedosa. E responde muito bem às tinturas, o que a torna

muito versátil. Tem amplo uso em polpa de celulose, móveis rústicos e móveis finos, portas, tabuleiros, aglomerados (Rojas e Murillo, 2004) e chapas (Brito e Silva, 2002).

A *Pachira quinata* (Jacq.) W. S. Alverson [*Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dungand] pertence à família Malvaceae, encontrada nas florestas decíduais da América Central, amplamente distribuída em zonas tropicais baixas, tanto em climas secos como úmidos. Usualmente conhecida como cedro espinhoso, ceiba vermelha ou pachote (CATIE, 1991; Carvalho Sobrinho e Queiroz, 2011; Alvarado, 2012b). Pode alcançar de 20 a 40 m de altura e de 1 a 2 m de diâmetro. Tem fuste reto e cilíndrico, com acúleos cônicos, caducos, com pontas agudas e ligeiramente curvadas, e com copa arredondada e folhagem dispersa. A casca do tronco é de cor cinzenta, algumas vezes marrom e a madeira tem uma densidade que varia de 0,38 a 0,46 g cm⁻³. Apresenta folhas caducas, palmadas, com 5-7 folíolos de 8-14 cm de comprimento e de 3-8 cm de largura, bordos inteiros ou dentados e pecíolo comprido. As flores são brancas e o fruto é uma cápsula verde, que se torna amarela com a maturidade, é deiscente, com um grande número de sementes recobertas por fibras sedosas que se dispersam com o vento (CATIE, 1991; CONIF, 2003b). A madeira é de excelente qualidade e é empregada em indústrias de móveis, marcenaria, construção, caixas, chapas, portas e tábuas (CONIF, 2003b; Cordero e Boshier, 2003). Outra importância da *P. quinata* é o seu potencial antioxidante, relatado na literatura por Calderon et al. (2000).

Para *P. quinata* na região do Caribe Colombiano, segundo PIZANO S.A (2009), a rotação média é de 20 a 25 anos, com projeção a corte raso de 270 m³ ha⁻¹, com extração de 50 m³ ha⁻¹ por desbaste, tendo seu manejo, em média, três desbastes de um povoamento inicial com 1111 mudas ha⁻¹, quando usado um espaçamento de 3m x 3m.

As duas espécies, *G. arborea* e *P. quinata* apresentam vantagem tais como alto potencial de crescimento após o plantio, adaptação às condições edafoclimáticas diversas, alta produtividade e qualidade de sua madeira para os processos industriais. Um claro exemplo da cadeia produtiva destas espécies inicia na Monterrey Forestal S.A. na Colômbia, onde as plantações destinam-se a abastecer de maneira sustentada, em quantidade, qualidade e adequação, a

fabricação de tábuas aglomeradas nas fábricas de chapas e painéis que pertencem a PIZANO S.A. (PIZANO S.A., 2009).

2.2. Características da região do Caribe Colombiano

A região do Caribe Colombiano está localizada no norte e possui 11,6% dos 1.141.748 km² que compreendem o território nacional, o equivalente a 132.442 km² (Meisel e Pérez, 2006).

O clima oscila entre o semiárido e o subsúmido. A temperatura é quase constante ao longo do ano, com média de 28 °C. A precipitação anual varia entre 600 e 1.300 mm, com média anual de 970mm. Há dois períodos chuvosos, que se estendem de abril a junho e de agosto a outubro, seguidos de estações secas (Castro, 2003; Meisel e Pérez, 2006; Guerrero, 2008; Rubiano, 2010).

Dentre os atributos dos solos do Caribe Colombiano, 65% possuem baixo teor de matéria orgânica; 73% pH superiores a 5,6 e alguns superam valores de 6,8; 86% apresentam altas percentagens de saturação de bases e conteúdos da Ca e Mg; condições de baixa saturação de Al inferiores a 30% e, em 70 a 75%, predominância de argilas de tipo 2:1 (esmectitas, vermiculita e micas), repercutindo na evolução do húmus que influencia na dinâmica, morfologia e propriedades dos solos. Além disso, 17% da área total da região são representados por alfissolos (3%), aridissolos (4%), vertissolos (5%) e molissolos (5%), segundo Castro (2003) e Guerrero (2008), com frequentes deficiências de micronutrientes como o B (Guerrero, 2008).

Jaramillo (2002, 2004) expressa que, dentro das limitações para plantios na região do Caribe Colombiano, estão o clima seco, limitações físicas do solo, relacionadas com as propriedades dos vertissolos, horizontes endurecidos, deterioração estrutural e alta susceptibilidade à erosão. Outro aspecto importante na região são os processos de salinização, sodificação e calcificação, que envolvem cerca de 28% da região (Castro, 2003).

Entre as características dos vertissolos, descritas por Hubble (1984) e Dudal e Eswaran (1988), estão conteúdo de argilas superiores a 30% e evidências de expansão e contração, com mudanças marcantes em seu conteúdo de água. Henríquez et al. (2010) os descrevem como possuidores de pH elevados; altos teores de Ca e Mg; argilas tipo 2:1 que têm alta capacidade de

retenção de cátions na sua superfície externas e internas, especialmente de K e NH_4 . O K pode encontrar-se em condições desbalanceadas pelos altos teores de Ca e Mg, exercendo um efeito antagônico e dificultando a sua absorção pelas plantas, especialmente se os seus níveis são baixos; também pode haver antagonismos sobre o Fe, B e Zn, o que pode se tornar limitante para o crescimento das plantas.

2.3. Nutrição mineral de espécies florestais

Os 17 nutrientes conhecidos como essenciais para o crescimento de plantas dividem-se em dois grupos: macronutrientes, que constituem, aproximadamente, 99,5%, e micronutrientes, que constituem cerca de 0,5% da massa seca vegetal (Epstein e Bloom, 2006; Murillo e Alvarado, 2012).

O crescimento das plantas está relacionado ao fornecimento de água e de nutrientes pelo solo, além de outros fatores como a luz (Taiz e Zeiger, 2010). O estabelecimento de um programa de fertilização requer conhecimento do ciclo dos nutrientes nas plantações, da disponibilidade de água, da atividade dos micro-organismos, dinâmica da decomposição da matéria orgânica e do intemperismo do material geológico. As reações químicas alteram a solução do solo e, por consequência, a disponibilidade dos nutrientes, como é o caso do pH. Teores de pH acima de 6,5 diminuem a disponibilidade de P, K, Mn, Cu, Zn e de Fe e B (Abreu et al., 2007; Taiz e Zeiger, 2010). Os micronutrientes são particularmente sensíveis aos problemas de desequilíbrio nutricional e alterações de pH na solução do solo. Além disso a disponibilidade de um nutriente pode ser alterada por níveis excessivamente altos de outros (Landis, 1989), como é o caso da precipitação do Fe com a presença excessiva de Ca sob altos valores de pH (Juárez et al., 2008a).

A produtividade das culturas depende de fatores como a bioestrutura do solo e fertilidade (teor de nutrientes e relação entre eles). Os solos com bioestrutura intacta permitem maior eficiência das práticas de adubação. Em geral, nas plantações florestais, são escassas as pesquisas referentes à fertilidade do solo e às exigências nutricionais das espécies.

De acordo com Evans (1992), os fertilizantes são utilizados para corrigir uma deficiência nutricional específica, estabelecer uma plantação em um local degradado ou com poucas possibilidades de suprir os nutrientes necessários e estimular o crescimento potencial das árvores.

As características e quantidade de adubo a ser aplicado e o manejo de adubação dependem das necessidades nutricionais da espécie utilizada, da fertilidade do solo (Gonçalves, 1995), da forma de reação dos adubos com o substrato, da eficiência dos adubos e de fatores de ordem econômica (Mattos Junior et al., 2002; Mendonça et al., 2008).

Informações sobre exigências nutricionais de espécies florestais, em especial das espécies nativas, são escassas. Contudo, tem-se observado deficiências minerais e distúrbios de crescimento nestas espécies. Para o sucesso do empreendimento florestal é importante, entre outros aspectos, o conhecimento das quantidades exigidas de cada nutriente pela espécie (Dreschel e Zech, 1991; Lima et al., 2000).

Para algumas espécies cultivadas em larga escala, existem trabalhos de pesquisa onde se relacionam os efeitos positivos da adubação com N, P e K, tanto na fase de viveiro, quanto em condições de campo. No caso particular de *G. arborea*, Murillo e Alvarado (2012) reportam que apesar de haver na Costa Rica extensa área plantada com esta espécie, não são disponíveis informações sobre nutrição e fertilização da mesma.

Segundo Allen (1987), apesar dos benefícios da fertilização florestal serem evidentes, a implementação de um sistema adequado para cada localidade em particular não é fácil.

Assim, é importante a abordagem de temas relacionados à fertilização de espécies florestais em solos de regiões que tenham potencial para a produção madeireira, gerando informações sobre exigências nutricionais, fornecendo as recomendações técnicas necessárias para o manejo dos cultivos com critérios de sustentabilidade ambiental.

2.4. Boro e ferro

A disponibilidade dos micronutrientes é essencial para o adequado crescimento das plantas e para obter rendimentos elevados. Quando existe

deficiência de um ou vários micronutrientes, estes se convertem em fatores limitantes ao crescimento ainda que existam quantidades adequadas dos outros nutrientes (BR Global, 2010).

Segundo Eaton (1980), o B total do solo pode ser dividido nas formas inorgânicas e orgânicas. A primeira encontra-se na solução do solo como ácido bórico, na forma de boratos solúveis, adsorvidos pelas superfícies das argilas, óxidos e hidróxidos de Fe e Al ou como precipitados, em compostos de baixa solubilidade, combinados com Fe, Al e Ca. O B orgânico está na forma de ésteres de ácido bórico com compostos hidroxílicos, que se originam nos processos de transformação da matéria orgânica, não disponível para as plantas, sendo necessária sua mineralização (Fassbender, 1975).

Bradfor (1966) cita vários autores que classificam diferentes tipos de solo que, segundo suas características podem apresentar deficiência de B: a) solos derivados de rochas ígneas ácidas ou de depósitos sedimentários de água doce; b) solos de natureza ácida, onde o B se perde por lixiviação; c) solos de textura leve; d) solo alcalino especialmente se contiver Ca livre; e) solos sobre irrigação, onde o conteúdo de B na água é baixo e tenha ocorrido deposição de sais; e f) solos pobres em matéria orgânica.

As concentrações dos micronutrientes são muito baixas nos tecidos das plantas, quando comparadas com os macronutrientes, o que indica que cada grupo tem diferente papel no crescimento e metabolismo das plantas. As concentrações mais baixas dos micronutrientes refletem na sua função como constituintes dos grupos prostéticos nas metaloproteínas e como ativadores de reações enzimáticas. Sua presença em grupos prostéticos permite que catalisem processo redox na transferência de elétrons (principalmente os elementos de transição Fe, Mn, Cu e Mo).

Os micronutrientes também formam complexos enzimáticos ligando uma enzima com um substrato (Fe e Zn). Não existem enzimas ou outros compostos orgânicos essenciais definidos que conttenham B e Cl. Entretanto, o B é um constituinte essencial das paredes celulares (Kirkby e Römheld, 2007).

Dentro das funções que se acredita que participe o B, está o transporte de açúcares, a formação da parede celular, mais especificamente na síntese dos seus componentes, como a pectina, a celulose e a lignina (Marschner, 1995; Fleischer et al., 1998; Epstein e Bloom, 2006), sendo também relacionado ao

metabolismo ou à incorporação do Ca na parede celular (Cakmak et al., 1995); metabolismo dos carboidratos, metabolismo do RNA, respiração, metabolismo do AIA, metabolismo dos fenóis, fixação de N₂, metabolismo de ascorbato e diminuição da toxicidade do Al.

O B é requerido pelas dicotiledôneas em maiores quantidades que outros micronutrientes. Embora o papel fisiológico do B ainda não esteja totalmente elucidado, sua deficiência é relativamente fácil de ser induzida e os sintomas aparecem rapidamente junto a mudanças na atividade metabólica. Existem evidências crescentes de que alguns destes efeitos são os que Marschner (1995) descreveu como efeitos secundários originados pela falta de B na parede celular, na membrana ou na interface da membrana plasmática com a parede celular (Kirkby e Römheld, 2007). Destaca-se ainda seu papel na síntese de proteínas, no processo de floração, na formação do sistema radicular das plantas e no controle osmótico (BR Global, 2010). Assim, a deficiência em B causa muitas alterações anatômicas, fisiológicas e bioquímicas nas plantas, porém a maioria dessas mudanças, provavelmente, é decorrente dos efeitos secundários da deficiência (Shelp, 1993).

Segundo Filho (2006), a deficiência de B nas plantas se caracteriza pela paralisação do crescimento dos tecidos meristemáticos da parte aérea e das raízes, sendo necessário contínuo suprimento para a manutenção da atividade meristemática.

Murillo e Alvarado (2012) reportam que a deficiência de B em plântulas de *G. arborea* provoca uma cor verde clara ou amarela intensa na folhagem, com manchas de cor café escuro, distribuídas em toda a lâmina, além de apresentar pouco crescimento radicular.

Alvarado (2012a), ao fazer um diagnóstico da nutrição em plantações florestais do trópico, afirmou que o sintoma de deficiência de B nas gemas terminais causa redução do crescimento, tortuosidade e necrose; assim como copa em forma arbustiva, caule bifurcado, crescimento tortuoso e exsudação de resina. Em coníferas, observa-se acículas curtas e amarelamento do ápice para a base, meristema apical em forma de bulbo, seguido da morte progressiva das plantas. O anterior indica que na falta do B as árvores sofrem efeitos negativos afetando sua produção final (Alvarado et al., 2012a).

Muito pouco se avançou no conhecimento sobre os efeitos e exigências de micronutrientes das espécies florestais nativas. Trabalhos conduzidos por Renó et al. (1997) não apresentaram resposta a micronutrientes para canafístula [*Senna multijuga* (L.C. Rich) Irwin & Barneby], cedro (*Cedrela fissilis* Veloso), pau-ferro (*Caesalpineia ferrea* Martius ex Tul. Var. *leiostachya* Benth) e jacaré [*Piptadernia gonoacantha* (Martius) MacBride]. Entretanto, em vertissolo com pH básico (maior ou igual a 7,0) e altos teores de Ca e Mg, pode ocorrer antagonismo com Fe e B, dificultando a absorção destes nutrientes pelas plantas (Henríquez et al., 2010).

Nas espécies do gênero *Eucalyptus* são encontrados vários trabalhos sobre efeitos do B no crescimento e nutrição das plantas. As repostas à deficiência de B nestas espécies se apresentam inicialmente com o enrugamento e descoloração das folhas novas, os brotos tornam-se quebradiços e morrem. As folhas maduras, da parte superior da copa, tornam-se descoloridas e desprendem-se dos ramos. A progressão do sintoma culmina com um escurecimento e necrose dos ramos e folhas da parte superior da copa (Savory, 1962; Silveira et al, 2002). Reduções severas resultam na diminuição do crescimento e redução da massa seca produzida, como observaram Ramos et al. (2009) e Leite et al. (2010), para espécies do gênero *Eucalyptus*, e Stone e Will (1965), Martinez et al. (1989) e Alvarado (2012a), Alvarado et al. (2012a) para *Pinus*.

Em plantios de eucalipto, a deficiência de B tem sido comum (Silveira et al., 1998), manifestando-se, sobretudo, pela seca de ponteiro (Oliva et al., 1989; Sgarbi et al., 1999), que é um dos sintomas característicos. Silveira et al. (2004) relataram que a frequência com que ocorre deficiência desse nutriente em plantações de eucalipto é maior do que na maioria dos demais nutrientes, perdendo apenas para o K e para o P.

Sgarbi et al. (1999) observaram em clone de *E. grandis* x *E. urophylla* uma redução de 35% na incidência de seca do ponteiro em solos arenosos e de 45% em solos argilosos com aplicação de 2,2 kg ha⁻¹ de B na região de Três Marias-MG, local onde há extensas áreas plantadas e apresenta longos períodos de déficit hídrico durante o ano. Para o mesmo clone, Silveira et al. (2002), em condições de deficiência de B, observaram no início a morte de gema apical, seguida de perda de dominância e, em estágio mais avançado do quadro

sintomatológico, ocorreu morte de ponteiro e de ramos com o superbrotamento das gemas laterais ao longo do caule.

Leite et al. (2010), estudando as respostas de dois clones de eucalipto à supressão de B, observaram que o crescimento em altura e diâmetro do colo, dos clones avaliados foi afetado. No período de 120 a 150 dias (totalizando 30 dias de supressão de B), clones de *E. grandis* e *E. grandis* x *E.urophylla*, apresentaram taxa de crescimento em altura de 41,4% e 37,0%, respectivamente. Aos 180 dias de supressão, o crescimento praticamente cessou, tendo a taxa caído significativamente para 3,2% para *E. grandis* e 3,4% para *E. grandis* x *E.urophylla*.

Ramos et al. (2009) avaliaram o efeito da aplicação de cinco doses de B (0,00; 0,25; 0,75; 2,25; e 6,25 mg dm⁻³, na forma de ácido bórico– H₃BO₃) no crescimento de *E. citriodora* em dois tipos de solos (Latosolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo), submetidos a diferentes tensões hídricas (-0,033 e -0,010 MPa). O experimento foi conduzido em casa de vegetação e os tratamentos foram aplicados nos solos em vasos de 3 dm⁻³, permanecendo incubados com umidade correspondente à tensão de -0,010 MPa antes da semeadura. Os autores concluíram, aos 140 dias pós-semeadura, que houve efeito significativo do B sobre a produção de MSPA, MSR e MST, mostrando aumento acentuado na produção, quando se aplicaram pequenas doses de B (0,25; 0,75 mg dm⁻³), independente do tipo de solo e das tensões hídricas a que foram submetidos; já nas dose acima de 2,25 mg dm⁻³ houve redução na produção de matéria seca das plantas, indicando o efeito tóxico do B.

Olykan et al. (2008) avaliaram o efeito de cinco doses de B, aplicadas no primeiro ano após o plantio (0, 4, 8, 16 e 32 kg ha⁻¹), com e sem o controle de plantas invasoras, em um sítio úmido e outro seco. Os autores destacaram que a umidade do solo foi o fator mais limitante para a sobrevivência e o crescimento das plantas do que a aplicação de B, considerando a diferença entre os sítios.

Já Möttönen et al. (2003), avaliando a resposta de *Picea abies* à aplicação de B (dose única de 1,5 kg ha⁻¹), até os 16 anos de idade, em dois sítios (mais fértil e menos fértil), concluíram que 10 anos após a aplicação, a concentração do B nas acículas variou de 4 a 19 mg kg⁻¹ nos tratamentos onde não foi aplicado B e, de 15 a 39 mg kg⁻¹ onde foi aplicado B. Isso mostra que a aplicação em uma só dose foi suficiente para se manter um ótimo estado

nutricional das acículas, uma vez que o nível crítico é de 4 mg kg^{-1} para esta espécie. O incremento médio anual em volume aumentou com a aplicação de B no sítio mais fértil. Para ambos os sítios, a relação entre massa de raízes finas vivas e mortas foi maior no tratamento fertilizado.

A planta absorve o Fe preferencialmente no seu estado de óxido ferroso (Fe^{2+}), tendo que reduzir a forma que domina nos solos aeróbicos (Fe^{3+}), processo que é realizado pela enzima redutase, localizada na membrana plasmática da raiz (Bienfait, 1985; Römheld, 1987).

A baixa disponibilidade de Fe no solo ocorre por fatores como pH, umidade, adubação orgânica, temperaturas extremas, potencial redox e associação com outros minerais, que podem fazer com que a quantidade disponível seja muito baixa, apesar de ser o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre. Concentração dos íons Fe^{3+} e Fe^{2+} inferior a 10^{-15} M , é insuficiente para alcançar as necessidades nutricionais dos vegetais (Juárez et al., 2008a).

Um problema característico associado à produção em solos calcários, com pH de 7 a 9 e um conteúdo significativo de carbonatos livres (Gildersleeve e Ocampo, 1989), se conhece como clorose férrica, consequência da falta de Fe. O sintoma mais característico é a clorose internerval, que é corrigida aplicando-se Fe na forma disponível para a planta (Emery, 1982, Carlson, 2003). Aplicação localizada de sais e quelatos de Fe (aplicação ao solo ou foliar), modificação artificial do pH da solução do solo (aplicação de ácidos orgânicos ou inorgânicos) e o uso de cultivares com habilidade para absorver o Fe do solo, onde este nutriente encontra-se pouco disponível (Chen e Barak, 1982; Emery, 1982), são formas de manejo para aumentar a disponibilidade do nutriente.

O Fe é um micronutriente essencial para a organização dos meristemas e crescimento das brotações, atuando como cofator de múltiplos elementos no sistema de transporte de elétrons, em processos enzimáticos e na eficiência fotossintética das plantas (Hansen et al., 2006; Zekri e Obreza, 2009); também é um componente da molécula da clorofila e constituinte importante de algumas proteínas e enzimas. Segundo Juárez et al. (2008a), é um elemento de transição que se caracteriza pela facilidade relativa com que muda seu estado de oxidação, passando de Fe^{3+} para Fe^{2+} e vice-versa, e por sua capacidade para formar complexos octaédricos com diferentes moléculas ou elementos. A grande

variação confere importância nos sistemas redox biológicos. É catalisador nos processos de oxidação e redução da planta (BR Global, 2010).

Nas folhas, o principal efeito da deficiência de Fe se produz nos cloroplastos, modificando sua estrutura e funções (Soldatini et al., 2000), causando diminuição dos pigmentos fotossintetizantes, tais como clorofila *a* e *b*, e em menor proporção, dos carotenos (Neely, 1976; Soldatini et al., 2000; Donnini et al., 2003; Carlson, 2003; Taiz e Zeiger, 2010), o que leva a uma baixa mobilidade devido a precipitação em forma de fosfato e óxidos nas folhas mais velhas (Taiz e Zeiger, 2010). Este desequilíbrio produz amarelecimento intervenal (reticulado fino) das folhas (Terry e Zayed, 1995; Taiz e Zeiger, 2010), afetando, também, o transporte fotossintético de elétrons (Soldatini et al., 2000; Donnini et al., 2003).

Em espécies arbóreas, os sintomas de deficiência de Fe se apresentam de formas diversas conforme a idade e a espécie. Em mudas de *G. arborea* provoca queimadura nas pontas das folhas e necrose nas raízes, o que causa a morte das mesmas (Murillo e Alvarado, 2012). Em plantios de *Tectona grandis*, há diminuição severa em altura, número de folhas e massa seca de raízes nos seis primeiros meses após o plantio (Sujatha, 2005, 2008). Em *Pinus caribaea* ocorre necrose apical das acículas, redução do crescimento em altura e, em estágio mais avançado, afeta o desenvolvimento da planta toda (Alvarado et al., 2012a, Martinez et al., 1989).

Os sintomas da deficiência de Fe em *Cedrela odorata* são constatados rapidamente, não se apresentando, inicialmente, diminuição no crescimento. Quando a deficiência é severa, o crescimento do caule torna-se reduzido, tornando-se fraco. As folhas velhas apresentam clorose uniforme e total, incluindo as nervuras, diferente ao descrito como deficiência de Fe em outras espécies (Alvarado, 2012c). Em *G. arborea*, a deficiência de Fe causa a queima das pontas das folhas e raízes necrosadas, o que causa a morte das mudas. (Murillo e Alvarado, 2012).

Rivera et al. (2007) ao compararem as soluções aquosas de 0,1% de Fe (sulfato ferroso, citrato férrico e quelato FeDDHA em doses de 100mL por quatro dias) aplicadas a 20% das raízes de mudas de *Citrus lemon* com clorose, aos seis meses de idade, em vasos de 8 L com solo calcário, coberto com plástico

transparente, à temperatura ambiente; observaram que o quelato de Fe corrigiu totalmente a clorose.

2.5. Características fisiológicas

2.5.1. Índice de verde na folha (SPAD) e teor de clorofila

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela captura de luz usada na fotossíntese, sendo essenciais na conversão da radiação luminosa em energia química, na forma de ATP e NADPH. Assim, as clorofilas estão relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente com o crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes (Jesus e Marengo, 2008).

O teor de clorofila da folha é uma característica importante para os estudos da fisiologia da planta, pois pode estar relacionado à senescência foliar (Noodén et al., 1997), ao teor de nitrogênio nas folhas (Azia e Stewart, 2001; Esposti et al., 2003), além de poder ser alterado em resposta a estresses ambientais (Neufeld et al., 2006; Nauš et al., 2010).

Tradicionalmente, os métodos utilizados para determinação do teor de clorofila requerem destruição das folhas, o que é uma desvantagem em estudos que visem determinar o efeito da ontogenia da folha no grau de esverdeamento, além de serem métodos demorados e onerosos (Jesus e Marengo, 2008). Por isso, o medidor portátil de clorofila (MPC) Minolta SPAD-502, que mede o índice de intensidade da cor verde das folhas, tem sido utilizado como instrumento para rápido diagnóstico do estado nutricional de diversas culturas, em relação ao conteúdo de clorofila, e também de N, agregando vantagens como a simplicidade de ser usado (Argenta et al., 2001; Coste et al., 2010). Recomenda-se fazer ajustes de modelos para cada espécie, conforme aos obtidos por diversos autores, tais como Marquard e Tipton (1987), Schaper e Chacko (1991) e Netto et al. (2002).

Apesar de ser um método simples e rápido de estimar o conteúdo de clorofila da planta, parece que nem sempre existe uma correlação linear entre as leituras de SPAD e esse teor (Nauš et al., 2010), sendo essa estimativa útil em casos de estreita faixa do teor de clorofila (Jifon et al., 2005). Segundo Nauš et al. (2010), em concentrações mais elevadas de clorofila a leitura do MPC é menos

sensível, a dispersão dos valores medidos é superior e a exatidão da medição diminui. Em folhas com teor de clorofila alto, a transmissão da luz pode ser afetada pelo efeito “peneira”, causado pela heterogeneidade de distribuição da clorofila no interior da folha (McClendon e Fukshansky, 1990). Esse efeito aumenta a transmitância, principalmente, em regiões de alta absorção de pigmentos (vermelho e azul). Assim, o valor da leitura é menor em comparação com valores de amostra com a mesma quantidade de clorofila uniformemente distribuída (Nauš et al., 2010).

Outro fator destacado nas avaliações de SPAD, consiste na importância da calibração do equipamento para cada espécie ou cultivar, bem como entre as plantas cultivadas sob diferentes condições (Jifon et al., 2005). Dessa forma, tomando-se os devidos cuidados, a determinação dos pigmentos fotossintéticos pode ser uma importante ferramenta no diagnóstico de estresse em plantas (Hendry e Price, 1993), uma vez que diferentes tipos de estresse, tais como o hídrico, nutricional e biótico, causam reduções significativas na concentração de clorofila nas folhas.

Percival et al. (2008), com o objetivo de estabelecer uma correlação entre o conteúdo foliar da clorofila e conteúdo de N foliar, com medidas de cor verde feitas com o SPAD-502, em árvores de *Acer pseudoplatanus*, *Fagus sylvatica* e *Quercus robur*, concluíram que, independente, da espécie, as correlações entre as leituras de SPAD, clorofila total e conteúdo de N foliar foram altas, porém houve baixa correlação entre os valores de SPAD e clorofila total. Os mesmos autores determinaram que, para as três espécies, valores de SPAD inferiores a 25 indicam deficiência de N. Nesta mesma ordem, Souza et al. (2011) encontraram correlação de 0,95 entre a medida indireta da clorofila (SPAD) e o teor de N foliar. Indicando esta medida como um método de monitoramento dos níveis de N em plantas cítricas das variedades de copa Valência e Hamlim, ambas sobre porta-enxerto *Citrumelo swingle*, dois anos após o estabelecimento.

Por outro lado, Babaeian et al. (2011), ao avaliarem o efeito do estresse hídrico e de micronutrientes (Fe, Zn e Mn) no teor de clorofila, medido pelo índice de SPAD, em girassol, encontraram que, quando foi aplicado foliarmente o Fe, Zn ou a mistura de ambos, estes afetaram negativamente o índice de SPAD (14,4, 13,1 e 14,7 respectivamente), quando comparados com a aplicação de Mn (15,9). De igual forma em condições de irrigação ótima a aplicação de Fe e a

mistura de Fe e Zn apresentaram os menores resultados de índice de SPAD (12,0 e 12,6 respectivamente), quando comparados à aplicação da mistura (15,0).

Smith et al., (2004), com o objetivo de quantificar o efeito do pH do substrato e micronutrientes no crescimento e conteúdo de clorofila de *Petunia xhybrida* e *Impatiens wallerana*, observaram que em ambas as espécies o índice SPAD teve alta correlação com o teor de clorofila total. Em ambas as espécies tanto o índice de SPAD quanto o teor de clorofila total diminuíram em pH acima de 5,3, independente da concentração de micronutrientes (0,33, 0,067 e 0,067 mg L⁻¹). A faixa ótima de pH para ambas as espécies variou de 4,5 a 5,3 com 0,5 mg L⁻¹ de Fe. Isto pode ser atribuído às mudanças na concentração de pigmentos foliares, que ocorrem quando o teor foliar de Fe está em seu nível crítico, resultando em uma redução no teor de clorofila nas folhas jovens e ruptura do aparato fotossintético (Abadia et al., 1991; Marschner, 1995).

2.5.2. Fotossíntese

A fotossíntese é o principal processo de fornecimento de carbono para o crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo apresentar variações inter e intraespecíficas (Bacarin e Mosquim, 1998).

A taxa fotossintética está relacionada a eventos ligados ao desenvolvimento da folha: aumento da área foliar, espessura da folha, superfície e volume de células do mesófilo, superfície foliar interna e as dimensões dos cloroplastos das folhas. Durante a expansão da folha, a atividade das enzimas fotossintéticas aumenta junto com os processos fotoquímicos, tais como a captação da luz, atividade da cadeia de transporte de elétrons e fosforilação (Catský e Sesták, 1997).

O desempenho fotossintético da folha depende de três propriedades: (1) da captação de luz, que é relacionada principalmente com o conteúdo de pigmentos da folha, determinando o potencial fotossintético; (2) a taxa com que o NADPH e ATP podem ser produzidos, dependendo da capacidade de transporte de elétrons ou fotofosforilação; e (3) da capacidade de utilização da RuBP pela Rubisco, podendo limitar a taxa fotossintética (Evans, 1989).

Assim, a fotossíntese pode ser definida como o processo físico-químico, através do qual os organismos fotossintéticos utilizam a energia da luz para estimular a síntese de compostos orgânicos (Taiz e Zinger, 2010). O processo de fotossíntese depende de um conjunto de moléculas complexas de proteína que estão dentro e em torno de uma membrana altamente organizada. Este processo tem uma forte dependência da estrutura da membrana. É necessário um elevado grau de organização dos complexos de pigmento-proteína para a utilização eficiente da energia solar por organismos fotossintéticos. Portanto, a deficiência de B pode estar associada a danos na estrutura da membrana, o que pode afetar o processo de fotossíntese (Pinho et al., 2010).

Tem sido demonstrado que a fotossíntese é afetada pela deficiência de B. Esse fato fica evidente a partir de experimentos com plantas de girassol cultivadas em longos períodos sob deficiência de B (Kastori et al., 1995, El-Shintinawy, 1999). Kastori et al. (1995) reportaram que a deficiência de B diminuiu o rendimento quântico e a eficiência quântica do PS II no transporte de elétrons, inibindo em 31% a cadeia de transporte de elétrons, quando comparados com a resposta das plantas com B suficiente. No mesmo sentido El-Shintinawy (1999), relatou que a atividade de PSII declinou nos cloroplastos com deficiência de B, em 42%, em relação à do cloroplasto de girassol com B suficiente. Isto indica a exigência de B na fotossíntese, ou está relacionada aos efeitos da deficiência do mesmo em outras áreas do metabolismo das plantas, tais como a produção de quinonas, altamente tóxicas e responsáveis pela produção de formas tóxicas de O_2 , como o peróxido de hidrogênio - H_2O_2 e radical hidroxilo - OH^\cdot (Cakmak e Römheld, 1997).

Experimentos com cloroplastos de espinafre isolados mostraram apenas efeitos sutis, quando existem, em condições de deficiência de B. Entretanto, é possível que os efeitos observados em cloroplastos sejam secundários e causados pela inibição do crescimento de raízes e parte aérea, o que poderia causar, indiretamente, uma atividade reduzida de um dissipador de saturação dos receptores de elétrons dos fotossistemas. Estes efeitos podem aumentar a possibilidade de danos na taxa foto-oxidativa em resposta a futuros estresses (Goldbach e Wimmer, 2007).

No mundo os níveis B naturais são insuficientes para a produção, uma vez que este elemento está presente no solo como ácido bórico, que é facilmente

lixiviado (Shorrocks, 1997; Kot, 2008; Tanaka e Fujiwara, 2008). Portanto, o B é frequentemente adicionado como fertilizante em sistemas agrícolas (Gupta et al., 1985). Por outro lado, em ambientes áridos e semiáridos, onde se usa a irrigação, a água utilizada pode conter elevada concentração de B, frequentemente em associação com elevada salinidade (Nable et al., 1997), o que pode produzir toxicidade, que afeta a produção agrícola (Nable et al., 1997; Park e Edwards, 2005).

Segundo Goldbach e Wimmer (2007), os mecanismos primários do desempenho do B na fotossíntese são desconhecidos, entretanto, as funções podem ser afetadas em nível de membranas do cloroplasto, por interromper o transporte de elétrons e o gradiente de energia, através da membrana, resultando em fotoinibição. Da mesma forma, Papadakis et al. (2004) relataram que um dos motivos prováveis para a redução da fotossíntese em plantas de tangerina 'Clementina' cultivadas sob estresse de B foram os danos estruturais nos tilacoides e o desenvolvimento anormal do tecido do parênquima esponjoso. Isto indica o importante papel do B na manutenção do funcionamento das membranas das diferentes organelas, onde atuam no processo fotossintético. Tanto o efeito do excesso de B ($2,5 \text{ mg L}^{-1}$) quanto seu déficit, levam a um colapso destas membranas, ocasionando danos ao aparato fotossintético.

Pinho et al. (2010), avaliando o efeito da deficiência de B na eficiência fotoquímica da plantas de coqueiro anão verde, usando o JIP teste, encontraram que a fluorescência da clorofila *a* foi alterada quando as palmas do coqueiro foram submetidas a déficit de B. Foram reduzidos o número total de fótons absorvido pelas moléculas de antena do PS II, o transporte de elétron na sessão transversal do PS II e a taxa máxima de excitação que conduz à redução de Q_A . Isto reflete mudanças no conteúdo de clorofila, comum em plantas deficientes em B, o que altera a composição e desorganização da estrutura dos complexos protéicos coletores de luz, das membranas dos tilacoides, que conduz a uma alteração da arquitetura dos cloroplastos. Estes danos podem promover alteração na emissão de fluorescência da clorofila *a*.

Da mesma forma, Hajiboland e Farhanghi (2011), com o objetivo de estudar o efeito da combinação de estresse hídrico e deficiência de B sobre o crescimento, e as relações hídricas das plantas de *Brassica rapa* L. (nabo), submeteram mudas a baixo ($<2,5 \text{ mM}$) e adequado (25 mM) fornecimento de B,

sob condições bem irrigadas e secas. Estes autores concluíram que a fluorescência da clorofila conservou suas atividades normais nas plantas submetidas à restrição de B e bem irrigadas, enquanto que um dano grave para o PS II ocorreu sob estresse hídrico. A limitação estomática foi a mais importante causa para uma diminuição de 17% na taxa fotossintética líquida nas plantas submetidas à seca, com B suficiente. Em plantas em condições de déficit de B, as limitações estomáticas e não estomáticas resultaram em uma redução de 53% de fotossíntese.

Em contrapartida, segundo Hajiboland e Bastani (2012), baixo fornecimento de B em plantas de chá [*Camellia sinensis* (L.) O.Kuntze] irrigadas, não influenciou no rendimento quântico máximo do PS II (F_v / F_m), na captura de energia por centros reação abertos PS II (F'_v / F'_m), na excitação não fotoquímica (q_N), no rendimento quântico efetivo do PS II (Φ_{PSII}) e na taxa de transporte de elétrons (ETR). Essas informações indicam que os processos fotossintéticos conservam suas atividades normais em condições de déficit de B, quando as plantas são bem irrigadas. No entanto, o *quenching* fotoquímico, que reflete a capacidade de utilizar a energia absorvida através do metabolismo e crescimento, diminuiu significativamente em plantas sujeitas a deficiência de B. Essa redução poderia estar relacionada com a fotoinibição, ao invés de um dano direto no PS II (Baker e Bowyer, 1994). Segundo os autores, uma das causas da fotoinibição foi, provavelmente, o menor teor de Clorofila em folhas deficientes em B.

Hajiboland et al. (2011) cultivaram plantas de chá [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze], sob condições adequadas (46 mM) ou sob deficiência (<2.5 μM) de B em solução nutritiva, e sob diferentes intensidades de luz [baixa ($50 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), intermediária ($250 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e elevada ($500 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)], com o objetivo de avaliar o efeito dos componentes sobre o crescimento e a fotossíntese. Os autores relatam que a deficiência de B pouco afetou os eventos de eficiência fotoquímica, eficiência de captura de excitação, o *quenching* fotoquímico e o rendimento quântico sob condições de baixa intensidade de luz. No entanto, constata-se uma redução na eficiência de conversão de energia fotossintética quando as plantas foram submetidas a condições de luz intermediárias e elevadas. Os autores observaram que em folhas jovens os eventos fotoquímicos foram mais protegidos em excesso de luz e deficiência de B, o que foi atribuído à ativação de defesa antioxidante, induzida por esta deficiência. Demmig-Adams e

Adams (1992) sugerem que, antes da ocorrência de quaisquer processos prejudiciais, ocorre a fotoinibição, o que pode resultar em aumento na dissipação de energia térmica, como um processo fotoprotetor e associado com o aumento no tamanho do *pool* de pigmentos do ciclo de xantofilas. O *quenching* fotoquímico (qN) é um mecanismo para prevenir ou aliviar danos no aparato fotossintético (Müller et al., 2001).

2.5.3. Eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água

No processo de trocas gasosas, as plantas incorporam CO₂ da atmosfera ao mesmo tempo em que ocorre perda de vapor de água (transpiração), da planta para a atmosfera. Assim, a eficiência no uso da água (*EUA*) das plantas consiste no volume de água que estas necessitam consumir para incorporar à sua biomassa determinada quantidade de CO₂ proveniente da atmosfera (Medrano et al., 2007).

A *EUA* das plantas depende principalmente de dois fatores: das características próprias da espécie e variedade que tenham relação com a capacidade de otimização dos processos de assimilação de CO₂ e da transpiração da água, bem como, das características do ambiente em que cresce e se desenvolve a planta (Taylor e Willatt, 1983; Jarvis, 1985; Jarvis e McNaughton, 1986; Medrano et al., 2007). Em um dossel denso, por exemplo, a resistência da camada de ar limítrofe pode ser tão alta que a resistência estomática é apenas uma pequena proporção de toda resistência à difusão e evaporação das folhas (Kang e Zhang, 2004).

Diversos aspectos fisiológicos estão relacionados na busca de melhor eficiência no uso da água, dentre eles a fotossíntese e a condutância estomática, devido ao fato de que um ajuste osmótico, como o fechamento dos estômatos, permite às plantas escaparem da desidratação e da perda do turgor, pela manutenção do conteúdo de água nas células. Por esta razão, as plantas submetidas a estresse hídrico podem escapar da redução no potencial hídrico e manter o turgor pela redução na elasticidade de suas paredes celulares (Saito e Terashima, 2004). Uma boa relação entre estes aspectos resulta em melhor eficiência fotossintética e do uso da água.

A medida da *EUA* na escala foliar tem um enorme valor experimental, por ser uma medida relativamente simples e representativa da planta inteira. Sua medição tem sido realizada pela determinação de troca de gases, que geralmente integra um período de tempo breve ou muito breve, e por análises da discriminação isotópica do carbono, que integra um período de tempo muito maior (Medrano et al., 2007).

Para Flexas et al. (2004), Romero e Botia (2006) e Medrano et al. (2007), as medidas de trocas gasosas na folha permitem determinar a transpiração e a fotossíntese líquida. A *EUA* na folha é o cociente destes dois parâmetros. Esta eficiência é representada por dois níveis, o primeiro é a eficiência no uso da água, ou seja, assimilação de CO_2 /transpiração (A/E , $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$); e o segundo a eficiência intrínseca no uso da água (*EIUA*): assimilação de CO_2 /condutância estomática (A/g , $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$).

Ambas as medidas da *EUA* apresentam as mesmas unidades. A diferença é que a eficiência no uso da água depende da planta e das condições ambientais, de forma que um mesmo grau de abertura estomática pode se traduzir em uma taxa de transpiração muito diferente se a umidade ambiental varia. Por outro lado, a *EIUA* mede diferenças relacionadas com a capacidade da folha para regular a fotossíntese e a condutância estomática, que são independentes das condições atmosféricas no momento da medição. Assim, ambas apresentam como principal limitação o fato de serem medidas instantâneas, que integram um período muito breve de tempo, sendo que a extrapolação à *EUA* da planta inteira impossibilita correlações com parâmetros medidos em escalas organizacional e temporal diferentes (Medrano et al., 2007).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização dos experimentos

Os experimentos foram implantados na Estação (E.) Monterrey Forestal do Pizano S.A, no município do Zambrano, departamento do Bolívar- Colômbia, localizada a 9°44' N e a 74°50' O, a uma altitude de 65 m sobre o nível do mar. O solo foi classificado como vertissolo. O clima oscila entre o semiárido e o subúmido, é influenciado por uma frente intertropical. A temperatura é quase constante ao longo do ano, com média de 28 °C. A precipitação média anual é de 970 mm. Há dois períodos chuvosos, que se estendem de abril a junho e de agosto a outubro, seguidos de estações secas. Assim, a região está categorizada como Bosque seco tropical, segundo a classificação de Holdridge (Castro, 2003; Meisel e Pérez, 2006; Guerrero, 2008, Rubiano, 2010). Entretanto, no período experimental, houve alteração na precipitação, conforme a figura 1. Esta alteração é conhecida como fenômeno “La niña” (anos 2010 e 2011), que se caracteriza por um aumento das precipitações e da temperatura ambiente, diferente do que acontece no fenômeno conhecido como “El niño” (ano 2009), onde as precipitações estão abaixo da média (Alfaro, 2000). Segundo Martínez (2012) e o Banco Mundial (2012), o fenômeno “La Niña” no período 2010-2011 e 2011-2012 foi o mais forte da história na Colômbia, não só pela intensidade, como por seus impactos nas diferentes regiões do país, evento que marcou uma temporada de

intensas chuvas, superando em até 300% a precipitação média anual em algumas regiões do país.

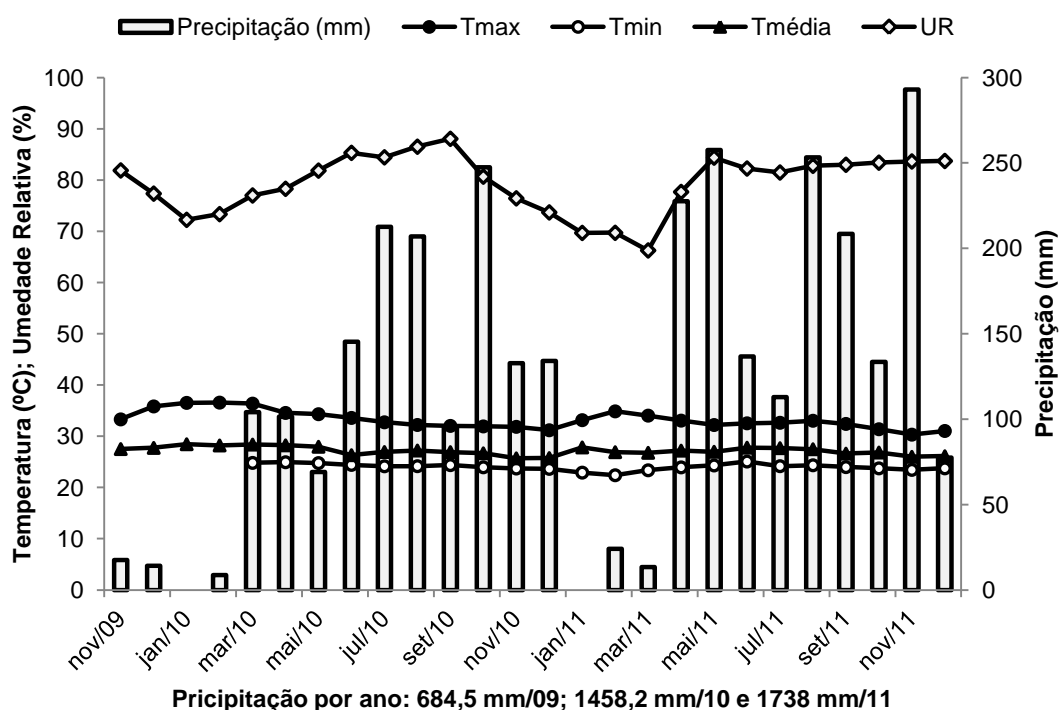


Figura1: Dados climáticos de temperaturas máximas, mínimas e médias (T Max, T Mn e T média), umidade relativa do ar (UR) e precipitação durante o período do experimento e precipitação total anual dos anos 2009, 2010 e 2011. Tomados na estação experimental de Monterrey Forestal, localizada em Zambrano, Bolívar-Colômbia.

3.2. Implantação dos experimentos

Foram utilizadas mudas seminais, provenientes do programa de melhoramento genético da E. Monterrey Forestal, produzidas em tubetes (150 cm³), com diâmetro do colo mínimo de 5 mm.

As mudas foram plantadas em solo de textura argilosa (66,4% de argila, 22% de silte e 11,6% de areia), conforme análise realizada no laboratório de Corpoica – Tibaitatá, pelo método de Bouyouco, cujas características químicas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1: Análise química do solo, de 0 a 20 cm de profundidade, antes de estabelecimento dos experimentos com *Gmelina arborea* e *Pachira quinata*, na estação de Monterrey Forestal, localizada em Zambrano, Bolívar- Colômbia

pH	M.O %	P ----- mg kg ⁻¹ -----	S -----	Sat. Al %	Al + H -----	Al cmol _c .kg ⁻¹ -----	Ca	Mg
7,0	0,9	63,7	3,5	0	0	0	19,6	6,91

K ----- cmol _c .kg ⁻¹ -----	Na	CTC -----	C.E dS m ⁻¹	Fe -----	Cu -----	Mn mg kg ⁻¹ -----	Zn	B
0,7	0,51	27,77	0,16	9	1,5	0,7	1,1	0,3

Fonte: Laboratório de Corpoica- Tibaitatá. Métodos usados por Item: pH (potenciômetro), em relação solo:água 1:2,5; M.O.= Matéria orgânica (Walkley- Black modificado); P= Fósforo disponível (Bray II); S+ Enxofre disponível (Fosfato monocálcico); Al+H= Acidez trocável (KCl 1N); Cátions trocáveis= Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ (Acetato de amônio 1M a pH 7,0); CTC= Capacidade de trocas de cátions (Soma de cátions); Micronutrientes = Fe, Cu, Mn, Zn (Olsen modificado), B = Boro (Fosfato monocálcico); C.E.= Condutividade elétrica.

Foram estabelecidos dois experimentos, um por espécie. As mudas foram plantadas em campo, em covas de 25 cm de profundidade por 15 cm de diâmetro, com um espaçamento de 3,5 m x 2,7 m, e cada parcela foi composta por 33 plantas (3 linhas de 11 plantas). No momento do plantio foi adicionado na cova Hidrogel, em doses de 800 mL da mistura de 3,0 kg de hidrogel por cada 1.000 litros de água; esta mesma dosagem foi aplicada duas vezes por falta de chuvas durante o estabelecimento. Depois das chuvas, foram aplicados 10 tratamentos, correspondentes às combinações de B e Fe, conforme apresentados na tabela 2. Para cada espécie, os tratamentos foram dispostos em Blocos Casualizados, com seis repetições. As diferentes doses de B e Fe estabelecidas nos tratamentos foram baseadas nas respostas de diferentes espécies vegetais à adubação com estes nutrientes (Baquero, 1992; Vasquez, 2001; Olykan et al., 2008 e Juárez et al., 2008b).

Foi aplicada adubação de base por cova de 31 g de N, 16 g de P₂O₅ e 56,6 g de K₂O; e no início do segundo ano foi efetuada a mesma aplicação por cobertura conforme recomendado por Zuluaga et al. (2010), usando como fontes sulfato de amônio (21% de N), superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O).

Tabela 2. Tratamentos aplicados nas espécies *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* em plantios realizados na estação de Monterrey Forestal, localizada em Zambrano, Bolívar- Colômbia, no primeiro e segundo anos após o plantio das mudas no campo

Tratamentos	Boro e Ferro	Doses (g/planta)
1	Testemunha: B (0) e Fe (0)	0 + 0
2	B (0,7 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) + 0 Fe	3,22 + 0
3	B (1,4 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) + 0 Fe	6,82 + 0
4	B (2,1 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) + 0 Fe	9,66 + 0
5	B (0) + Fe (0,5 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0 + 2,48
6	B (0) + Fe (1 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0 + 4,96
7	B (0) + Fe (1,5 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0 + 7,44
8	B (0,7 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) + Fe (0,5 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	3,22 + 2,48
9	B (1,4 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) + Fe (1 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	6,82 + 4,96
10	B (2,1 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹) + Fe (1,5 kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	9,66 + 7,44

As fontes de nutrientes foram bórax (20,5% de B) e sulfato ferroso (19% de Fe), aplicados 50% no plantio (início da temporada de chuvas) e 50% restantes da dose aos 4 ou 6 meses, conforme o regime de chuvas. Os tratamentos foram aplicados durante os dois primeiros anos após a implantação dos experimentos, com um total de quatro fertilizações. A aplicação foi feita separadamente, sendo as fontes diluídas para 100 mL de água por planta e aplicadas na projeção das copas, a aproximadamente 25 cm do colo das plantas.

3.3. Avaliações

As plantas foram submetidas a medições anuais de altura. O diâmetro a altura do peito (DAP) foi medido aos dois anos após plantio, sendo avaliadas 18 plantas por parcela.

Foram feitas avaliações de teores nutricionais e de solo, ambas aos 30 dias após a segunda dose da fertilização anual, sendo coletadas amostras foliares até completar peso fresco aproximado de 300 g de folhas totalmente expandidas, de três diferentes árvores por parcela. As amostras de solo foram retiradas de cinco subamostras em cada parcela, formando uma amostra média.

Para ambas as espécies, as folhas foram retiradas de forma aleatória em cada um dos três terços da copa da árvore, nos quatro quadrantes, compondo uma amostra média representativa. De cada galho foram coletadas folhas completamente expandidas até a sétima folha.

As amostras foliares foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada a 70° C, por 72 horas. O material foi triturado em moinho tipo Wiley®, usando peneira de 20 mesh, acondicionado em recipientes plásticos hermeticamente fechados e submetido a análises químicas no laboratório da Corpoica para determinação dos teores de nitrogênio (N_{org}), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B) e ferro (Fe). As análises de tecido e de solo foram realizadas de acordo com metodologias descritas por ICA (1992) e CORPOICA (1998). Os teores de P, B e Mo foram determinados por colorimetria, de Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Mn, por espectrometria, de K por fotometria, de S por turbidimetria e de N pelo método de Nessler.

Ao final de dois anos, foram obtidos o volume de madeira (Vol) e a massa seca das árvores (MS), que foram obtidos por meio dos modelos de regressão utilizados pela empresa Monterrey Forestal, que relacionam os valores de Altura (Alt) e diâmetro a altura do peito (DAP), de acordo com as equações abaixo relacionadas:

$$\text{Vol} = (0,0000901 \times \text{DAP}^{1,8200074}) \times \text{Alt}^{0,827848},$$

$$\text{e MS} = [(15928 \times \text{Vol}^2) - (2948,1 \times \text{Vol}) + 962,38] \times \text{Vol}, \text{ para } P. \text{quinata}.$$

$$\text{Vol} = 0,0000629 \times \text{DAP}^{1,78007} \times \text{Alt}^{1,020006},$$

$$\text{e MS} = [(-1373,1 \times \text{Vol}^2) + (1875,4 \times \text{Vol}) + 121,65] \times \text{Vol}, \text{ para } G. \text{arborea}.$$

Nesta mesma data foram realizadas as análises de trocas gasosas, utilizando o analisador de gases a infravermelho modelo CIRAS-2, PPSsystem, USA (Com FFF constantes a 1100 μm de fótons m⁻² s⁻¹), e de índice de cor verde na folha com o uso de medidor portátil de clorofila (MPC), modelo SPAD-502, Minolta, Japão. Estas medidas foram realizadas em três plantas por parcela, entre às 8:00 e 11:00 horas, na 3ª ou 5ª folha, contadas a partir do ápice de ramos do terço superior para *P. quinata* e do terço inferior para *G. arborea*, expostos completamente ao sol. A partir de valores obtidos no MPC (índice de SPAD), calculou-se o teor de clorofila total, por meio da metodologia proposta por Romero et al. (2012), através das seguintes equações:

$$Y = 8,3658X - 48,512, \text{ com } R^2 = 0,97 \text{ para } G. \text{arborea}.$$

$$Y = 8,6637X - 37,972, \text{ com } R^2 = 0,94 \text{ para } P. \text{quinata}.$$

Em que Y= teor de clorofila (μmol CO₂ m⁻²) e X= valor do índice SPAD.

As determinações, tanto das trocas gasosas, quanto do índice de coloração verde na folha ou SPAD, foram realizadas nos tratamentos T1, T4, T7 e T10, por serem estes os que apresentaram valores de dosagem mais distantes entre si, e devido à ausência de toxidez de B no primeiro ano de aplicação.

Os dados biométricos, nutricionais e fisiológicos (trocas gasosas, índice de SPD e clorofila total) foram submetidos aos testes de Lilliefors e ao teste de Cochran e Bartlett para verificação da distribuição dos dados e da homogeneidade das variâncias, sendo realizada transformação quando os mesmos não apresentaram distribuição normal e homocedasticidade. As variáveis que não apresentaram distribuição normal e homocedasticidade foram transformadas em $1/x$ ou \sqrt{x} segundo Barbin (2003), antes de realizar as análises de variância (ANOVA). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As diferenças nas características biométricas e nutricionais foram testadas por contrastes ortogonais e as características fisiológicas por teste de Tukey.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do aplicativo computacional SAEG, versão 9.0, FURNARBE – Fundação Artur Bernardes, Universidade de Viçosa- UFV. Foram geradas curvas de correlação entre taxa fotossintética (A) com condutância estomática (g_s), transpiração (E) e déficit de pressão de vapor folha-ar ($DPV_{folha-ar}$), assim como a de clorofila total com a intensidade de cor verde na folha (SPAD). Alguns dos dados fisiológicos são apresentados por estatística descritiva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características biométricas

4.1.1. *Pachira quinata*

Não houve efeito dos tratamentos sobre as variáveis biométricas avaliadas (Tabela 3). Isto se deve talvez ao fato de que esta espécie nas etapas iniciais de crescimento não requeira altos teores de B e Fe, ou que os teores disponíveis no solo tenham sido suficientes para atender às exigências nutricionais. A alta precipitação ocorrida no período de avaliação (Figura 1) certamente contribuiu para a disponibilização destes nutrientes. Sabe-se que, para o caso do B, a eficiência na sua absorção pelas plantas está condicionada, principalmente, à presença de água no solo (Loué, 1993). Isso ocorre porque o B tem como principal forma de transporte no solo até a superfície das raízes o fluxo de massa, que por sua vez é diretamente proporcional ao fluxo de água no solo, sendo, portanto, extremamente afetado pelas suas condições de umidade (Reichardt, 1985). Desta forma, sob condições de boa disponibilidade de água e na presença do nutriente no solo, não haverá problemas de carência de B no plantio. Segundo Sakya et al. (2002), o estresse hídrico diminui a absorção de B e sua translocação para as folhas, levando a um aumento no requerimento desse nutriente pelas plantas. Assim, Olykan et al. (2008), ao avaliarem o efeito de cinco doses de B, aplicadas no primeiro ano de plantio (0; 4; 8; 16 e 32 kg ha⁻¹), em oito genótipos de *Pinus radiata*, em dois sítios diferentes (úmido e seco), aos quatro

anos após o plantio, encontraram que houve diferença da expressão das doses de B entre as localidades, sobre o teor foliar de B, sobrevivência, altura e volume de madeira produzida, com menores variações observadas no sítio mais seco. O efeito da umidade do sítio foi o fator mais limitante para a sobrevivência e o crescimento das mesmas, resultando em valores de crescimento e sobrevivência superiores no sítio com boa úmidade, o que corrobora os resultados encontrados com as altas precipitações ocorridas nos dois anos de avaliação deste trabalho. Alvarado (2012b) relata que a *Bombacopsis quinata*, sinônimo de *P. quinata*, desenvolve-se bem em solos de fertilidade natural alta e que requer boa distribuição de chuvas durante o ano todo para seu bom desenvolvimento, tal como ocorreu no tempo de avaliação deste trabalho.

Por outro lado, Jedad et al. (1996) e Chinchilla et al. (1997) reportam que a espécie *Bombacopsis quinata*, não respondeu à fertilização com NPK nos estados iniciais de crescimento, em condições de boa fertilidade de solo. Os autores baseiam-se no fato de que a aplicação do fertilizante químico não melhora as características de crescimento quando o índice de sitio é alto. Chinchilla et al. (1997) obtiveram esta resposta quando aplicaram o fertilizante uma só vez em plantações de dois anos e compararam as variáveis de crescimento aos 48 meses após a aplicação dos tratamentos (0-0-0, 0-50-40, 50-50-40 e 150-100-40 de NPK).

Tabela 3: Altura (H1 e H2) no primeiro e segundo ano após plantio e diâmetro a altura do peito (DAP), volume (Vol) e massa seca (MS) dois anos após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamentos	H1 m	H2 m	DAP cm	Vol m ³ / árvore	MS kg/árvore
T1	2,73	8,87	5,14	0,0195	17,63
T2	2,75	8,95	4,90	0,0188	17,01
T3	2,66	8,91	5,10	0,0194	17,53
T4	2,89	9,31	5,24	0,0214	19,23
T5	2,69	8,92	5,05	0,0194	17,51
T6	2,69	9,30	5,17	0,0214	19,05
T7	2,76	9,19	5,19	0,0207	18,68
T8	2,61	9,12	5,11	0,0204	18,42
T9	2,66	8,88	4,88	0,0188	17,01
T10	2,79 ^a	9,09	5,03	0,0196	17,75
CV (%)	8,4	5,8	4,8	12,9	12,3
Teste de F	0,74 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,42 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,79 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. QMT= quadrado médio do tratamento, G.L- grau de liberdade do

4.1.2. *Gmelina arborea*

Não houve diferenças em altura nos dois anos de avaliação (Tabela 4). Embora pelo teste de F tenha havido diferença no diâmetro a altura do peito (DAP) das plantas, em função dos tratamentos, aos dois anos após plantio, os contrastes escolhidos não apresentaram diferenças, o que pode ser visto no contraste (C1) da tabela 5.

Tabela 4: Altura (H1 e H2), no primeiro e segundo ano após plantio, e volume (Vol) e massa seca (MS) de madeira, estimados aos dois anos após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamentos	H1	H2	Vol	MS
	M	m	m ³ / árvore	kg/árvore
T1	6,10	11,64	0,0585	14,22
T2	6,38	11,64	0,0590	14,69
T3	6,04	12,65	0,0708	18,79
T4	5,92	12,39	0,0632	15,65
T5	6,04	11,82	0,0566	13,49
T6	5,90	11,89	0,0599	14,52
T7	5,98	12,52	0,0652	16,39
T8	5,56	11,44	0,0520	12,44
T9	6,90	12,17	0,0615	15,22
T10	5,87	11,91	0,0596	14,82
CV (%)	11,3	6,5	14,4	20,3
Teste de F	1,62 ^{ns}	1,63 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,91 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe.

Tabela 5: Contrastes do diâmetro a altura do peito (DAP) dois anos após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	DAP (cm)
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	10,749 – 10,500 ^{ns}
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	10,152 – 10,675 ^{ns}
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	10,514 – 10,835 ^{ns}
C4= (T2) - (T4)	10,660 – 10,538 ^{ns}
C5= (T5) - (T7)	10,138 – 10,651 ^{ns}
C6= (T8) - (T10)	9,515 – 10,383 ^{ns}
C7= (T3) - (T4)	11,308 – 10,538 ^{ns}
C8= (T6) - (T7)	10,754 – 10,651 ^{ns}
C9= (T9) - (T10)	10,558 – 10,383 ^{ns}

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ^{ns}= não significativo a 5%.

Vasquez (2001) relata que na empresa Cartón de Colômbia, no departamento do Cauca, ao produzir *Pinus patula*, em dois tipos de solos (“Dystandept” e Inceptisol”) e seis adubações [T1= testemunha; T2= 100 g de calfos (com fórmula de 40-28-3 % de P-Ca-S, respectivamente); T3= 100g de calfos mais 5 g de B; T4= 50 g de NPK(10-30-10); T5= 50 g de NPK mais 5 g de B e T6= 5 g de B], observaram com a aplicação de 50 g de NPK e 5 g de bórax no plantio, obtiveram, aos 2 anos, aumento de 48% em altura quando comparados com a testemunha, diferente dos resultados deste trabalho.

Craven et al. (2011), ao estudarem a resposta de *Tectona grandis* (Verbenaceae, que pertence à mesma família da *G. arborea*), em duas localidades (seco tropical, com 1300 mm ano⁻¹, e úmido tropical, com 2220 mm ano⁻¹) e solos moderadamente férteis, observaram que houve diferenças em diâmetro basal e não houve em altura, nas duas localidades avaliadas, o que deixa ver que esta responde bem a condições diferentes de precipitação, se o solo apresenta boa fertilidade, resultado este que corrobora o encontrado para *G. arborea* neste trabalho.

Entretanto, nem todas as espécies respondem à aplicação de B, como observado por Tirloni et al. (2011). Os autores avaliaram o efeito de doses de boro (0; 0,33; 0,66; 1,0 e 1,33 kg de B ha⁻¹) sobre o crescimento inicial em altura e diâmetro de plantas de *Corymbia citriodora*, aplicados nas épocas seca e chuvosa, em condições de campo. Encontraram que não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados para crescimento em altura e diâmetro à altura do peito (DAP) até aos 29 meses de idade, nas duas épocas avaliadas.

4.2. Análises nutricionais

Um dos problemas no setor florestal é a determinação das necessidades nutricionais das espécies e obtenção do diagnóstico nutricional de nutrientes limitantes para o desenvolvimento das mesmas. As exigências nutricionais variam entre espécie e estágio de desenvolvimento dentro de cada espécie. Além disso, é uma ferramenta para determinar o progresso de programas de nutrição em plantações florestais (Jayamadhavan et al., 2000).

A relevância de diagnosticar a condição nutricional de plantas é cada vez maior, uma vez que pode auxiliar na estimativa da produção. Existem vários

procedimentos de avaliação para atingir este propósito: dentre eles análises foliares e análises de solo. A análise foliar ajuda a diagnosticar ou validar a presença de sintomas visuais de deficiências nutricionais, ou diagnosticar “fome oculta”, possibilitando a correção antes que atinjam níveis de dano econômico (Boardman *et al.* 1997). O objetivo da análise de solo é conhecer, através de métodos químicos de extração, a quantidade disponível de cada nutriente para as plantas durante seu ciclo de desenvolvimento.

4.2.1. *Pachira quinata*

As análises foliares de N, Ca, Mg e Fe, no primeiro ano após plantio não apresentaram diferenças entre os tratamentos pelo teste de F (Tabela 6).

Tabela 6: Teores foliares de nitrogênio (N), Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e ferro (Fe) no primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamentos	N	Ca	Mg ¹	Fe ¹
	----- g kg ⁻¹ -----			mg kg ⁻¹
T1	25,38	24,32	4,48	61,16
T2	22,26	24,18	4,59	73,17
T3	25,80	21,36	3,98	70,08
T4	27,00	21,60	4,11	71,67
T5	25,73	23,10	4,26	69,25
T6	27,82	31,45	5,78	75,67
T7	25,46	20,86	3,87	76,33
T8	25,59	22,46	4,50	73,25
T9	22,42	18,71	4,26	74,92
T10	27,09	21,59	3,79	78,58
CV (%)	12,03	31,33	29,06	8,99
Teste de F	1,34 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,85 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Esperava-se que nos tratamentos onde foi aplicado o B, houvesse maior concentração de Ca, pois, segundo Cakmak et al. (1995), o B está relacionado ao metabolismo ou à incorporação do Ca na parede celular. Não obstante, este resultado afirma que não houve efeito dos tratamentos, reafirmando que nas condições avaliadas os nutrientes disponíveis atenderam a exigência das plantas para a idade avaliada.

Apesar da diferença detectada pelo teste de F, sobre os teores de P, Na, Cu, Mn e Zn, em função dos tratamentos, no primeiro ano após plantio, não foram observadas diferenças para estes teores no contraste um (C1), que compara a testemunha com os demais tratamentos. Foram observados maiores teores de P, Na e Zn nos tratamentos que receberam Fe, em comparação aos que receberam apenas B (Tabela 7).

Tabela 7: Contrastes dos teores foliares de fósforo (P), sódio (Na), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) no primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	P	Na	Cu ¹	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----		----- mg kg ⁻¹ -----		
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	3,33-3,13	0,30-0,32	11,9-11,7	55,6-53,4	19,8-20,0
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	3,17-3,06	0,32-0,31	12,0-11,2	54,1-52,1	20,2-19,7
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	3,34-3,00*	0,35-0,29*	11,4-12,6	48,0-60,1	21,4-19,0*
C4= (T2) - (T4)	3,27-3,32	0,34-0,32	12,3-10,8	48,6-51,5*	22,9-21,2
C5= (T5) - (T7)	3,29-3,05	0,32-0,33	11,3-11,8	52,1-69,3	20,5-20,5
C6= (T8) - (T10)	3,31-2,88*	0,35-0,29*	11,2-12,3	55,8-45,6*	19,5-18,7
C7= (T3) - (T4)	3,43-3,32	0,38-0,32	11,3-10,8	43,8-51,5	20,2-21,2
C8= (T6) - (T7)	2,66-3,05*	0,23-0,33*	14,7-11,8	59,0-69,3	16,0-20,5*
C9= (T9) - (T10)	3,00-2,88	0,31-0,29	10-12,3*	54,9-45,6	20,8-18,7

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Houve efeito dos tratamentos sobre os teores de K e B no primeiro ano após plantio, como pode ser observado no contraste C1 da tabela 8.

Tabela 8: Contrastes dos teores foliares de potássio (K) e boro (B) no primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	K g kg ⁻¹	B mg kg ⁻¹
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	8,96 - 11,06*	64,2 – 104,3*
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	9,48 - 11,85*	116,7 – 98,1*
C3= (T5 +T6 +T7) - (T2+T3+T4)	12,99 - 10,71*	102,8 – 93,3
C4= (T2) - (T4)	10,36 - 10,88	80,2 – 106,6
C5= (T5) - (T7)	11,67 - 9,78	84,0 – 98,5
C6= (T8) - (T10)	10,34 - 9,29	110,8 – 130,6
C7= (T3) - (T4)	10,88 - 10,88	93,2 – 106,6
C8= (T6) - (T7)	17,52 - 9,7*	125,9 – 98,5*
C9= (T9) - (T10)	8,82 - 9,29	108,9 – 130,6

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%.

As plantas que receberam os micronutrientes isoladamente apresentaram maior teor de K e menor de B que aquelas que receberam a mistura dos nutrientes (Tabela 8). Esta diferença não foi mais observada aos dois anos após o plantio (Tabela 9).

Tabela 9: Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), Cálcio (Ca), sódio (Na), ferro (Fe), cobre (Cu) e boro (B) no segundo ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamentos	N	P	Ca	Na	Fe ¹	Cu	B ¹
	----- g kg ⁻¹ -----				----- mg kg ⁻¹ -----		
T1	32,8	2,96	21,6	0,31	66,2	13,2	106,4
T2	34,7	2,65	17,8	0,28	66,5	13,3	131,5
T3	36,1	2,92	21,8	0,25	86,3	13,7	132,1
T4	31,5	2,76	30,4	0,25	60,8	12,3	127,7
T5	36,9	3,13	19,3	0,24	75,2	14,2	120,1
T6	32,3	2,66	31,5	0,23	75,7	14,7	126,0
T7	32,4	2,45	17,8	0,30	70,7	14,2	101,4
T8	32,0	2,63	20,2	0,31	74,8	13,8	111,8
T9	31,9	2,64	14,9	0,30	87,3	13,8	136,8
T10	35,3	2,86	15,9	0,24	77,8	13,7	130,3
CV (%)	17,1	15,2	54,7	23,5	18,4	18,6	27,6
Teste de F	0,82 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,37 ^{ns}	2,09 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,56 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

No segundo ano após plantio as análises foliares dos elementos avaliados não apresentaram diferenças significativas, já que nenhum dos tratamentos superou a testemunha. Na ANOVA não foram observadas diferenças nos teores de N, P, Ca, Na, Fe, Cu e B em função dos tratamentos (Tabelas 9) e no contraste C1 para os elementos K, Mg, Mn e Zn (Tabela 10). Os níveis obtidos para N, P e K neste experimento, são considerados como adequados, segundo Zuluaga et al. (2011), que avaliaram, nas mesmas condições onde foi implantado o experimento, os níveis foliares da *P. quinata*, após dois anos de plantio, submetidas a fertilização com NPK. Os autores encontraram os valores adequados nas faixas de 27,5 a 46,0 g kg⁻¹ para N, de 2,1 a 3,1 g kg⁻¹ para P e de 10,8 a 26,4 g kg⁻¹ para K. Da mesma forma, os teores de Ca, Mg, Fe e B foram avaliados por Rivera et al. (2010) e, segundo os resultados dos autores, todos os teores obtidos nesta pesquisa são considerados como adequados para esta espécie; as faixas encontradas foram de 12,0 a 22,4 g kg⁻¹ para Ca, de 6,5 a 10,0 g kg⁻¹ para Mg, de 30,71 a 174,09 mg kg⁻¹ para Fe e de 109,51 a 222,29 mg kg⁻¹

para B. Estes dados confirmam que a disponibilidade de nutrientes no solo, em conjunto com a boa umidade do solo, produziram as condições para que todos os nutrientes estivessem disponibilizados, atendendo o requerimento da espécie para a idade avaliada.

Não houve diferenças estatísticas tanto na ANOVA quanto no contraste um (C1) para nenhum dos elementos avaliados nas análises de solo, aos dois anos após o plantio (Tabelas 11, 12, 13 e 14), o que indica que neste período as poucas diferenças observadas no primeiro ano se igualaram. De acordo com Montero (1999) os valores de pH e dos teores de Ca e Mg obtidos nesta pesquisa são considerados altos, cuja classificação do autor corresponde às seguintes faixas: de 5,3 a 7,0 para pH, de 0,84 a 11,92 g kg⁻¹ para Ca e de 0,23 a 2,49 g kg⁻¹ de Mg, em condições de bom crescimento na produção de *P. quinata*. O mesmo autor demonstrou que o crescimento da espécie é melhor quando plantada em inclinações suaves e solos com teores de Ca superiores a 3,61 g kg⁻¹. De igual forma, Vasquez e Ugalde (1994) reportam que a espécie prospera melhor conforme aumenta os teores no solo de Ca entre 0,4 e 6,41 g kg⁻¹ e para Mg na faixa de 0,24 a 1,46 g kg⁻¹, valores estes que foram superiores nos resultados dos dois anos de avaliação. Segundo NOM-021-RECNAT-2000 (2002), a porcentagem de matéria orgânica apresentou valores médios (faixa de 1,6 a 3,5), enquanto o P e o K foram considerados altos, com valores maiores que 30 mg kg⁻¹ e 0,23 g kg⁻¹, respectivamente. Foram considerados adequados os teores de Fe (>4,5 mg k⁻¹), Cu (>0,2 mg k⁻¹) e Zn (médio de 0,5 a 1,0 e alto >1,0). No entanto, a mesma classificação anteriormente citada indica teor baixo de B (<0,39 mg k⁻¹), embora não tenha havido resposta à aplicação deste nutriente. Assim, observa-se que as condições ambientais e a adequada umidade do solo fizeram que houvesse disponibilidade dos elementos necessários para o normal desenvolvimento das plantas em todos os tratamentos analisados, inclusive na testemunha.

Tabela 10: Contrastes dos teores foliares de potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn) e zinco (Zn) no segundo ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	K	Mg ¹	Mn ²	Zn ²
	----- g kg ⁻¹ -----	-----	----- mg kg ⁻¹ -----	-----
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	12,0-13,7	3,39-3,26	57,3-46,8	14,5-14,0
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	14,7-11,6*	3,58-2,62*	44,6-51,3	13,5-14,9*
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	14,0-15,5	3,25-3,92	36,9-52,3*	12,3-11,8
C4= (T2) - (T4)	11,6-16,7*	2,38-4,60*	36,0-36,8	13,7-11,8
C5= (T5) - (T7)	18,5-10,5*	3,56-2,42	47,2-50,7	14,0-15,5
C6= (T8) - (T10)	12,3-12,5	2,38-2,75	52,5-42,2	15,2-11,8
C7= (T3) - (T4)	13,7-16,7	2,77-4,60*	37,8-36,8	16,0-11,8*
C8= (T6) - (T7)	17,6-10,5	5,78-2,42*	59,0-50,7	16,0-11,8*
C9= (T9) - (T10)	10,2-12,5	2,71-2,75	59,2-42,2	15,3-15,5

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} ; ²análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 11: Análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), enxofre (S), condutividade elétrica (C.E.), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) no primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Trat	pH	M.O. %	K ¹ ----- g kg ⁻¹ -----	Ca -----	Mg -----	C.E dS m ⁻¹	P	Na ¹	S	Fe ----- mg kg ⁻¹ -----	Cu	Zn ¹	B ¹
T1	6,9	2,5	0,25	3,23	0,51	0,16	72,5	24	8,58	10,4	1,83	0,73	0,08
T2	6,8	3,2	0,32	3,07	0,53	0,19	126,5	22	6,58	10,9	1,87	0,90	0,13
T3	6,9	2,7	0,24	3,25	0,55	0,15	104,4	37	5,95	9,40	1,77	0,77	0,10
T4	6,9	3,4	0,34	3,39	0,61	0,21	136,5	35	5,95	9,67	1,70	0,97	0,13
T5	6,8	3,4	0,43	3,43	0,60	0,20	129,3	44	5,37	10,8	1,67	0,93	0,08
T6	6,9	2,7	0,27	3,03	0,49	0,15	95,1	26	5,66	10,4	1,87	0,80	0,13
T7	6,8	2,8	0,30	2,83	0,44	0,19	103,4	22	5,12	13,6	1,83	0,87	0,05
T8	6,8	3,3	0,28	3,25	0,57	0,18	103,2	35	6,73	11,4	1,70	0,90	0,10
T9	6,9	2,9	0,38	3,27	0,58	0,18	114,9	48	5,66	8,37	1,67	1,20	0,35
T10	6,9	2,6	0,27	3,05	0,52	0,15	80,9	26	5,90	10,4	1,93	0,73	0,13
CV (%)	2,78	16,1	28,4	8,1	14,5	22,8	34,8	32,4	27,4	30,4	9,42	24,1	55,8
F	0,17 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,93 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,98 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,96 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratam.= Tratamento= Trat.= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 12: Contrastes dos teores disponíveis de manganês (Mn) no solo, no primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contraste	Mn g kg ⁻¹
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1,27-1,63
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	1,59-1,81
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	1,33-1,84*
C4= (T2) - (T4)	1,50-1,43
C5= (T5) - (T7)	1,60-2,10
C6= (T8) - (T10)	2,00-1,50
C7= (T3) - (T4)	1,06-1,43
C8= (T6) - (T7)	1,83-2,10
C9= (T9) - (T10)	1,93-1,50

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. * = significância a 5%.

Tabela 13: Análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), condutividade elétrica (C.E.), manganês (Mn), cobre (Cu) e boro (B), no segundo ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Trat	pH	M.O. %	K ----- g kg ⁻¹ -----	Na ¹ -----	C.E dS m ⁻¹	P	Mn ----- mg kg ⁻¹ -----	Cu ²	B
T1	6,8	3,1	0,24	0,030	0,14	70	1,15	2,00	0,18
T2	6,8	3,3	0,30	0,024	0,14	90	0,87	2,18	0,20
T3	6,8	3,3	0,28	0,030	0,13	84	1,10	2,18	0,21
T4	6,7	3,6	0,30	0,041	0,14	95	1,13	2,23	0,28
T5	6,8	3,4	0,30	0,043	0,14	100	0,85	2,15	0,17
T6	6,8	3,5	0,32	0,020	0,15	114	1,15	2,10	0,22
T7	6,8	2,9	0,25	0,020	0,17	78	0,92	2,38	0,23
T8	6,7	3,4	0,29	0,042	0,14	104	1,05	2,08	0,20
T9	6,7	2,9	0,26	0,043	0,13	84	1,00	2,32	0,31
T10	6,7	3,0	0,27	0,022	0,17	95	1,17	2,30	0,23
CV (%)	2,31	18,9	18,8	21,6	24,4	20,3	26,3	12,1	54,7
F	0,81 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,30 ^{ns}	2,85 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,82 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratam.= Tratamento= Trat= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} ; ²análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 14: Contrastes da análise do solo de cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe) e zinco (Zn) no segundo ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	Ca	Mg	Fe ¹	Zn ²
	----- g kg ⁻¹ -----	----- g kg ⁻¹ -----	----- mg kg ⁻¹ -----	----- mg kg ⁻¹ -----
C1= (T1) - (T2+T3+T4+ T5+T6+T7+T8+T9+T10)	2,86-2,99	0,5-0,52	13,5-16,0	0,65-0,79
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	3,01-2,97	0,53-0,52	15,6-11,8*	0,86-0,75*
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	2,82-3,13*	0,48-0,55*	15,9-12,0*	0,76-0,75
C4= (T2) - (T4)	3,1-3,11	0,52-0,59*	15,0-10,4*	0,87-0,86
C5= (T5) - (T7)	3,1-2,53*	0,57-0,4*	12,9-21,8*	0,86-0,90
C6= (T8) - (T10)	3,13-2,85	0,54-0,49	13,2-14,3	0,90-0,92
C7= (T3) - (T4)	3,18-3,11	0,54-0,59	10,6-10,4	0,85-0,86
C8= (T6) - (T7)	2,83-2,53*	0,48-0,4*	13,0-21,8*	0,75-0,97*
C9= (T9) - (T10)	3,05-2,85	0,56-0,49*	19,5,-14,3	0,94-0,92

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X. ²análise realizada com dados transformados para √X.

4.2.2. *Gmelina arborea*

No primeiro ano após plantio, o teor de N na folha não apresentou diferenças estatísticas, e as médias obtidas, segundo Zuluaga et al. (2011), estão dentro da faixa considerada como adequada para a espécie no início de seu crescimento após plantio (22,2 a 50,5 g kg⁻¹), como pode ser observado na tabela 15; já para os teores dos demais elementos avaliados foram detectadas diferenças em função dos tratamentos, conforme os contrastes das tabelas 16 e 17.

Tabela 15: Teor foliar de nitrogênio (N) no primeiro ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamento	N ¹ g kg ⁻¹
T1	29,4
T2	29,1
T3	27,9
T4	29,6
T5	27,5
T6	27,5
T7	27,8
T8	29,6
T9	25,9
T10	27,7
CV (%)	10,9
Teste de F	0,94 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

No primeiro ano após plantio, apesar de detectada diferença entre tratamentos pelo teste de F, para os teores foliares de K, Na, Fe e B, não foi observado efeito dos tratamentos em relação à testemunha (Tabelas 16 e 17). Não obstante, os teores de Mg, Ca e Cu ter obtido significância no contraste um (C1), as plantas da testemunha superaram os demais tratamentos (Tabelas 16 e

17). Sobre os teores de P (Tabela 16) e Zn (Tabela 17) houve incremento em função dos tratamentos em relação à testemunha. Entretanto, apesar desta diferença, os teores foliares de ambos são considerados adequados em todos os tratamentos (Zuluaga et al., 2011; Drechsel e Zech, 1991 e Boardmann et al., 1997). Zuluaga et al. (2011), ao avaliar os teores de P, na mesma localidade do experimento, obtiveram os níveis críticos dos teores foliares da espécie aos dois anos após plantio, considerando a faixa de 3,0 a 6,4 g kg⁻¹ como adequada. Drechsel e Zech (1991) e Boardmann et al. (1997) indicam a faixa de 20 a 80 mg kg⁻¹ de Zn como teor foliar adequado para a espécie.

Os teores foliares de K, no primeiro ano após o plantio encontram-se acima do adequado, segundo Zuluaga et al. (2011), com valores maiores que 7,6 g kg⁻¹. Os teores de Ca e Mg (Tabela 14), de Fe e B (Tabela 15) são considerados adequados por Rivera et al. (2010), cujos limites são de 3,7 a 20,7 g kg⁻¹; de 1,3 a 4,6 g kg⁻¹; de 39,5 a 118,1 g kg⁻¹; e de 110,5 a 222,3 g kg⁻¹, respectivamente.

Os teores de Cu e Mn (Tabela 17) obtidos são considerados como adequados ou aceitáveis por Drechsel e Zech (1991) e Boardmann et al. (1997), com limites de 10 a 25 e 30 a 49 mg kg⁻¹, respectivamente.

Tabela 16: Contrastes dos teores foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e sódio (Na), no primeiro ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	P ¹	K	Ca	Mg ¹	Na
	----- g kg ⁻¹ -----				
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	3,2-3,6*	10,4-11,0	29,1-23,4*	5,4-4,8*	0,32-0,31
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	3,5-3,9*	10,5-12,0*	23,7-22,6	5,1-4,2	0,31-0,31
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	3,5-3,4	11,1-9,8*	24,8-22,7	4,3-5,8	0,34-0,29*
C4= (T2) - (T4)	3,6-3,2*	11,8-11,3	26,0-22,2	5,0-3,6*	0,33-0,37*
C5= (T5) - (T7)	3,3-3,3	8,2-11,1*	19,6-23,9*	8,9-4,2	0,31-0,26*
C6= (T8) - (T10)	4,1-4,3	13,5-11,6	20,9-25,7*	3,7-5,0*	0,30-0,31
C7= (T3) - (T4)	3,8-3,2*	10,1-11,3	26,1-22,2*	4,3-3,6	0,32-0,37*
C8= (T6) - (T7)	3,6-3,3	10,2-11,1	24,7-23,9	4,4-4,2	0,29-0,26*
C9= (T9) - (T10)	3,3-4,3*	10,8-11,6	21,4-25,7*	4,0-5,0	0,31-0,31

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância ao 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 17: Contrastes dos teores foliares de ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no primeiro ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	Fe ¹	Cu ¹	Mn ¹	Zn	B
	----- mg kg ⁻¹ -----				
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+ T7+T8+T9+T10)	63-67	12,9-11,5*	34-41*	39-56*	165-173
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+ T5+T6+T7)	66-68	11,7-10,9*	42-40	55-57	176-168
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	63-70*	12,1-11,3*	45-38*	53-57	190-162*
C4= (T2) - (T4)	61-68	11,3-14,1*	38-60*	65-41*	156-210*
C5= (T5) - (T7)	68-67	12,1-10,0*	36-35	50-56	166-175
C6= (T8) - (T10)	76-63*	10,1-12,3*	37-38	57-68*	139-198*
C7= (T3) - (T4)	59-68	11,0-14,1*	38-58*	54-41*	203-209
C8= (T6) - (T7)	74-67	11,9-10,0*	44-35*	64-56*	144-175*
C9= (T9) - (T10)	66-63	10,3-12,3*	45-38*	46-68*	166-198*

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

No segundo ano após plantio, não foram observadas diferenças nos teores foliares dos elementos avaliados, em função dos tratamentos (Tabela 18 e 19), com exceção do Mg (Tabela 20). Entretanto, mesmo com as diferenças observadas em função dos tratamentos sobre os teores de Mg, nenhum dos tratamentos superou a testemunha. Isto indica que, da mesma forma que para *P. quinata*, o solo com as condições de umidades ótimas, pela distribuição de chuvas ocorridas nos anos de avaliação, podem ter influenciado na disponibilidade dos nutrientes para a espécie, bem como a menor exigência das mesmas nos primeiros anos após o plantio.

Tabela 18: Teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e sódio (Na), no segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamentos	N	P	K ¹	Ca	Na
	----- g kg ⁻¹ -----				
T1	32,8	3,06	9,87	11,4	0,49
T2	35,2	3,60	9,38	10,9	0,46
T3	36,6	3,05	10,7	13,4	0,52
T4	33,9	3,09	10,9	8,10	0,45
T5	30,5	3,09	10,5	12,8	0,42
T6	33,6	3,51	12,4	7,90	0,47
T7	32,9	3,23	15,8	15,7	0,44
T8	40,5	3,08	14,3	9,92	0,44
T9	37,1	3,04	14,1	18,4	0,48
T10	37,3	3,14	10,1	10,3	0,57
CV (%)	15,01	19,02	21,4	55,59	16,57
Teste de F	1,82 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,94 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} .

Tabela 19: Teores foliares de ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamentos	Fe ¹	Cu	Mn	Zn	B
	----- mg kg ⁻¹ -----				
T1	72,3	13,0	48,8	42,2	87,76
T2	71,8	13,3	48,8	42,7	105,6
T3	67,2	13,3	43,8	38,3	115,1
T4	88,0	12,6	59,7	30,5	102,1
T5	96,0	14,5	46,2	40,0	121,3
T6	82,2	13,3	51,2	41,8	81,46
T7	86,5	13,7	46,3	33,2	95,56
T8	73,5	14,2	35,2	55,8	113,5
T9	74,0	13,0	45,0	34,5	127,9
T10	88,2	13,8	46,6	35,3	116,3
CV (%)	25,46	12,45	33,80	38,93	25,57
Teste de F	0,75 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,67 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 20: Contrastes da análise foliar de magnésio (Mg), no segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	Mg
	g kg ⁻¹
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	2,62-2,34
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	2,28-2,49
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	2,10-2,46
C4= (T2) - (T4)	2,28-1,58
C5= (T5) - (T7)	2,26-3,36
C6= (T8) - (T10)	1,98-1,67
C7= (T3) - (T4)	2,44-1,58
C8= (T6) - (T7)	1,76-3,36*
C9= (T9) - (T10)	3,81-1,67*

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%.

Os teores dos nutrientes encontrados nos diferentes tratamentos foram considerados adequados por diversos autores. Teores de N, P e K, por Zuluaga et al.(2011); de Ca, Mg, Fe e B por Rivera et al. (2010); para Cu, Mn e Zn, por

Drechsel e Zech (1991) e Boardmann et al. (1997). Os teores de B obtidos foram considerados baixos para a testemunha nos tratamentos onde foi aplicado o Fe, na dosagem de 0,5 e 1,0 kg ha⁻¹, conforme estudos de Rivera et al. (2010), que descrevem como nível mínimo a faixa de 36,2 a 100,4 mg kg⁻¹.

Segura et al. (2005a), ao avaliarem a resposta de plantações de *Alnus acuminata*, com 2 anos de idade, submetidas a cinco níveis de P (0, 61, 122, 183 e 244 g de P₂O₅ árvore⁻¹), concluíram que a adição de níveis crescentes deste elemento não influenciou a concentração foliar dos macronutrientes N, P, Ca, Mg, K e S e dos micronutrientes Fe, Cu, Zn, Mn e B. Os mesmos autores constataram que não foi possível fazer uma melhor interpretação dos níveis críticos da concentração foliar, por não haver referência bibliográfica sobre o tema para a espécie estudada. Segura et al. (2005b), avaliando a extração de nutrientes em plantações de *A. acuminata* de 2, 4 e 6 anos de idade, em três sítios diferentes, encontraram que a concentração foliar dos nutrientes estudados (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, CU, Zn, Mn e B) não foi influenciada pela idade das plantas, deduzindo que esta condição se dá quando os níveis dos diferentes nutrientes no solo satisfazem a demanda das espécies. Caso similar ao apresentado nas condições onde foram avaliadas as espécies *P. quinata* e *G. arborea*.

Para os dois anos de avaliação, não houve efeito dos tratamentos sobre as características químicas do solo, com relação à testemunha (Tabelas 21 a 24). Apenas os teores de S, no segundo ano após plantio, apresentaram diferença no C1, entretanto a testemunha superou os demais tratamentos. Estes resultados indicam que os teores de nutrientes que tinha o solo foram suficientes para suprir as exigências mínimas das espécies durante o tempo de avaliação.

Vásquez e Ugalde (1994), estudando a qualidade de sítio para a espécie, afirmam que o crescimento é reduzido quando as plantações são estabelecidas em locais com mais de 500 m de altitude, com ventos fortes e teores de Ca e Mg abaixo de 2,04 e 0,73 g kg⁻¹, respectivamente, o que não foi verificado no sítio em questão. Os mesmos autores descrevem que a espécie adapta-se melhor a solos neutros a básicos, e que seu crescimento aumenta quando o teor de Ca varia de 1,2 a 4,49 g kg⁻¹, o de Mg varia de 0,19 a 0,81 g kg⁻¹ e K de 0,19 a 0,27 g kg⁻¹, assim como o pH variando de 5,7 a 6,4; faixas que foram observadas no sítio em questão, condição que pode explicar a ausência de efeito dos tratamentos sobre a

espécie. Também Osman et al. (2002) afirmam que a espécie cresce melhor em solos de textura franco arenosa do que em franco argila arenoso, e com o pH superior a 6,0. Murillo e Brenes (1997) observaram que, em solos “insectisol” e “entisol” da Costa Rica, com profundidade de 15 a 30 cm, as características químicas do solo exercem efeito no crescimento inicial de *G. arborea*, mais acentuado que as características físicas, assim como o déficit de umidade do solo e altos teores de Al são fatores críticos para o crescimento. As condições ambientais, como as altas precipitações, não permitiram que o solo estivesse em déficit hídrico, mantendo os nutrientes disponíveis, atendendo os requerimentos nutricionais necessários para o desenvolvimento da espécie.

Vários fatores podem influenciar na disponibilidade de Fe e B no solo. A faixa de pH de maior disponibilidade está entre 4,0 e 6,0. Valores mais elevados de pH podem levar à baixa disponibilidade dos elementos (Abreu et al., 2007). O pH do solo na área do experimento variou de 6,8 a 7,1, podendo ter tamponado o efeito das doses de Fe e B aplicadas. Outro fator que pode ter influenciado na disponibilidade de Fe é a umidade do solo. Em ambiente anaeróbio aumenta a solubilidade do Fe no solo, reduzindo o Fe^{3+} a Fe^{2+} , aumentando sua disponibilidade na forma absorvida pelas plantas (Abreu et al., 2007). No experimento a alta precipitação pluviométrica durante os dois anos de avaliação, atípica para a região, pode ter influenciado no aumento da disponibilidade de Fe e diminuído os efeitos das doses aplicadas.

O contraste C3 indica que a aplicação de B influenciou positivamente a disponibilidade do Ca no solo, quando comparado com as aplicações de Fe (Tabela 22). Entretanto, o C4 e o C7, na mesma tabela, permitem observar que aplicações de dosagem altas de B, poderão inibir a disponibilidade do Ca.

Tabela 21: Análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na), condutividade elétrica (C.E.), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no primeiro ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Tratamento	pH	M.O. %	K ¹ ----- g kg ⁻¹ -----	Mg	Na ¹ -----	S ¹ -----	C.E. dS m ⁻¹	P	Fe	Cu	Mn	Zn ¹ -----	B ² -----
T1	6,8	2,5	0,203	0,53	0,06	5,6	0,14	68,0	14,9	1,70	1,57	0,77	0,06
T2	6,6	3,1	0,215	0,53	0,04	5,5	0,14	89,6	13,2	1,67	1,50	0,87	0,05
T3	6,9	2,6	0,234	0,45	0,02	5,0	0,14	108,9	15,6	1,70	1,30	0,77	0,06
T4	7,1	2,5	0,203	0,33	0,015	6,4	0,18	95,6	14,0	1,70	1,90	0,70	0,09
T5	6,9	3,1	0,211	0,53	0,04	6,2	0,18	81,1	9,30	1,60	1,30	0,77	0,07
T6	7,1	3,1	0,382	0,5	0,03	7,6	0,22	115,7	14,0	1,63	1,17	0,87	0,18
T7	6,9	3,2	0,296	0,5	0,02	6,6	0,18	106,4	12,8	1,53	1,20	0,93	0,09
T8	7,0	2,7	0,308	0,55	0,04	6,4	0,15	141,8	9,33	1,50	0,97	0,90	0,06
T9	7,0	2,2	0,222	0,55	0,05	8,5	0,15	53,9	17,7	2,07	1,73	0,70	0,22
T10	7,0	2,6	0,222	0,46	0,02	6,4	0,15	101,4	11,6	1,73	1,43	0,77	0,16
CV (%)	4,74	18,2	19,9	20,3	46	28,3	23,9	35,7	38,7	14,6	32,3	14,6	35,7
Teste de F	0,57 ^{ns}	1,47 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,39 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,33 ^{ns}	2,04 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X. ²análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} .

Tabela 22: Contrastes dos teores de cálcio (Ca) no solo, no primeiro ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	Ca g kg ⁻¹
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	3,03-3,11
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	3,07-3,19
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	2,87-3,26*
C4= (T2) - (T4)	3,15-2,44*
C5= (T5) - (T7)	3,40-3,02
C6= (T8) - (T10)	3,43-3,01
C7= (T3) - (T4)	3,03-2,44*
C8= (T6) - (T7)	3,12-3,01
C9= (T9) - (T10)	3,12-3,01

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%.

Tabela 23: Análise de solo do cálcio (Ca), potássio (K), sódio (Na), condutividade elétrica (C.E.), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B), no segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Trat	Ca	K ¹	Na ²	C.E.	Cu	Mn ¹	Zn	B ²
	g kg ⁻¹			dS m ⁻¹	mg kg ⁻¹			
T1	3,08	0,247	0,042	0,17	2,62	1,63	0,68	0,22
T2	3,19	0,263	0,036	0,17	2,75	2,08	0,92	0,22
T3	2,68	0,236	0,018	0,16	2,72	2,92	0,87	0,20
T4	2,50	0,233	0,016	0,22	2,68	2,10	0,62	0,25
T5	3,09	0,218	0,020	0,19	2,68	2,13	0,73	0,17
T6	3,13	0,284	0,027	0,18	2,40	1,85	0,80	0,14
T7	3,27	0,287	0,023	0,22	2,47	1,72	0,73	0,26
T8	3,19	0,366	0,030	0,17	2,50	2,40	0,73	0,19
T9	3,10	0,219	0,033	0,15	2,80	1,77	0,52	0,21
T10	3,15	0,242	0,024	0,15	2,67	2,03	0,68	0,22
CV (%)	14,7	21,0	26,02	26,3	12,0	47,7	34,5	27,5
F	1,86 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,04 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,63 ^{ns}

^{ns} não significativo e * significativo a 5% pelo teste de F. Tratamento= Trat= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X; ²análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} .

Tabela 24: Contrastes da análise de solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe) e enxofre (S) no segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia

Contrastes	pH	M.O. %	P ¹	Mg	Fe	S
			----- g kg ⁻¹ -----	-----	-----mg kg ⁻¹ -----	-----
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	6,8-7,0	2,8-2,8	0,10-0,10	0,51-0,5	19-21	5,1-3,5*
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	7,0-6,9	2,9-2,6	0,11-0,09	0,49-0,52	21-21	3,5-3,4
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	7,0-7,0	2,6-3,1	0,11-0,11	0,46-0,52	23-19	3,6-3,4
C4= (T2) - (T4)	6,7-7,5*	2,7-2,3	0,08-0,12	0,6-0,3*	23-18*	4,3-3,4
C5= (T5) - (T7)	7,2-7,0	2,6-3,5*	0,09-0,13*	0,48-0,54	19-18	3,6-3,6
C6= (T8) - (T10)	7,0-7,0	3,0-2,5	0,14-0,08*	0,53-0,5	22-19	4,3-2,8*
C7= (T3) - (T4)	6,8-7,5*	2,8-2,3	0,12-0,12	0,46-0,3*	28-18*	3,0-3,4
C8= (T6) - (T7)	6,9-6,9	3,4-3,5	0,11-0,13	0,52-0,54	19-18	3,0-3,6
C9= (T9) - (T10)	6,8-7,0	2,4-2,5	0,07-0,08	0,53-0,5	23-19	3,2-2,8

Tratamento= T; T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância ao 5% pelo teste de F. ¹ análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} .

4.3. Características fisiológicas

4.3.1. Taxa fotossintética líquida, transpiração, condutância estomática, déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, clorofila total e índice de cor verde na folha

Não houve efeito dos tratamentos sobre as características fisiológicas avaliadas nas plantas de *P. quinata*, como ocorrido nas respostas das avaliações biométricas e nutricionais, verificando uma vez mais que as condições ambientais em que se desenvolveu esta espécie não foram restritivas. Da mesma forma, os níveis de nutrientes observados no solo foram suficientes à exigência da espécie nos dois primeiros anos após o plantio (Tabela 25).

Tabela 25. Taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E) condutância estomática (g_s), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$), Clorofila total (Clor tot) e Índice de cor verde na folha (SPAD), no segundo ano após plantio de *Pachira quinata* e *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia

<i>Pachira quinata</i>						
Tratamento	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	E ----- $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ----	g_s	$DPV_{folia-ar}$ Kpa	Clor tot $\mu\text{mol m}^{-2}$	SPAD
Testemunha	13,98 a	2,65 a	121,0 a	2,32 a	360,2 a	46,04 a
B+	16,59 a	2,63 a	130,3 a	2,24 a	375,7 a	46,40 a
Fe+	15,61 a	2,38 a	110,8 a	2,34 a	378,5 a	47,71 a
B + Fe	16,74 a	2,68 a	119,0 a	2,45 a	383,7 a	48,00 a
CV (%)	28,99	19,54	27,90	15,05	7,07	9,52
Teste de F	0,47 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,88 ^{ns}
<i>Gmelina arborea</i>						
Tratamento	A $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	E ----- $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ----	g_s	$DPV_{folia-ar}$ Kpa	Clor tot $\mu\text{mol m}^{-2}$	SPAD
Testemunha	9,38 b	1,80 b	81,7 b	2,52 a	296,8 a	40,38 a
B+	14,68 a	2,97 a	138,3 a	2,18 a	326,6 a	46,39 a
F+	11,32 ab	2,53 ab	110,3 ab	2,59 a	291,2 a	40,18 a
B + Fe	14,38 a	2,90 a	146,8 a	2,11 a	337,9 a	47,47 a
CV (%)	18,82	21,54	31,68	19,86	16,75	12,60
Teste de F	7,08*	5,70*	3,66*	1,58 ^{ns}	1,12 ^{ns}	2,77 ^{ns}

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%). Tratamento= T; T1= testemunha, T2= B+= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= Fe+ = 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T4= B + Fe = 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe.

A condutância estomática (g_s) em *P. quinata* variou de 119 a 130 mmol H₂O m⁻² s⁻¹. Gutiérrez-Soto et al., (2008), ao avaliarem a g_s de plantas de *P. quinata*, aos seis anos de idade, em condições naturais, com precipitação média anual variando de 1500 a 1950 mm, durante o período de chuvas, encontraram que os valores de g_s , em folhas jovens, aumentaram de 100 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ no início das chuvas para 450 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, em outubro (altas precipitações), diminuindo para menos de 75 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, à medida que o clima se tornou mais seco.

Hajiboland e Farhanghi (2011), em plantas de nabo submetidas a estresse hídrico combinado com deficiência de B observaram que a fluorescência da clorofila *a* conservou suas atividades normais nas plantas submetidas a condições de restrição de B e bem irrigadas, enquanto que o dano ocorrido no PS II foi sob estresse hídrico. Em plantas em condições de déficit de B, as limitações estomáticas e não estomáticas sofreram uma redução de 53% de fotossíntese. Resultado parecido ao acontecido nesta pesquisa com a *P. quinata*, que não apresentou resposta à aplicação de B, em função das condições hídricas adequadas em que se desenvolveu.

As informações reportadas na literatura e as respostas obtidas nesta pesquisa (Tabela 25) indicam que algumas espécies vegetais, em condições de boa distribuição pluviométrica ou bem irrigadas, conservaram suas atividades normais e seus processos fotossintéticos, ainda que o solo apresente déficit de B. Tal como aconteceu no tratamento controle (testemunha) para a espécie *P. quinata*. Por outro lado, pode ser que esta espécie não seja exigente em B e Fe neste estágio de desenvolvimento.

Na *G. arborea*, a fotossíntese (*A*), a transpiração (*E*) e a g_s foram influenciadas pelos tratamentos. Naqueles onde foi adicionado o B (2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹) e a mistura B + Fe (2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe), houve maior taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração, com relação à testemunha (Tabela 25). Entretanto, o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ($DPV_{folha-ar}$), clorofila total (*Clor tot*) e índice de cor verde na folha (SPAD) não foram afetados pelos tratamentos. A diferença de resultados entre espécies permite reafirmar que as repostas fisiológicas, nas mesmas condições edafoclimáticas podem ser diferentes (Taylor e Willatt, 1983).

Pode-se observar na tabela 25 que nesta mesma espécie, o tratamento controle (testemunha) resultou em plantas com baixa condutância estomática e transpiração, o que pode ter levado a baixas taxas fotossintéticas.

Rojas et al. (2012), ao avaliarem plantas de *G. arborea* de três idades [plântula (2 a 10 meses), juvenil (10 a 16 meses) e adulta (48 a 60 meses)], em três épocas climáticas (chuva, seca e transição de chuva a seca), na região do Caribe Colombiano, encontraram que a taxa de transpiração (E) diminuiu com a idade. No período de chuvas as plântulas apresentaram $30 \mu\text{g de H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e as adultas $13 \mu\text{g de H}_2\text{O cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, as juvenis apresentaram valores intermediários. Valores que estão dentro da faixa alcançada pela *G. arborea* nas condições avaliadas aos dois anos após plantio.

Kastori et al. (1995) e El-Shintinawy (1999) demonstraram, em plantas de girassol cultivadas por longo período sob deficiência de B, que a fotossíntese é afetada por esta deficiência, o que leva a pensar se esses efeitos refletem a exigência B na fotossíntese, ou estão relacionados com outras áreas do metabolismo das plantas. Goldbach e Wimmer (2007) observaram inibição no crescimento de raízes e parte aérea de espinafre em condições deficientes de B. Ao isolarem os cloroplastos nas mesmas condições, concluíram que esta inibição tenha sido efeito secundário dos danos causados nos cloroplastos, afetando a taxa foto-oxidativa.

Pinho et al. (2010), avaliando o efeito da deficiência de B nas trocas gasosas e a eficiência fotoquímica da planta de coqueiro anão verde, usando o teste JIP, encontraram que a A , E , gs , $DPV_{folha-ar}$, índice de cor verde na folha (SPAD), fluorescência da clorofila a e o transporte de electrons, foram diminuídos em 35,7%, 34,2%, 45,6%, 31,3%, 29,2%, 16,8% e 12,5%, respectivamente. Segundo Goldbach e Wimmer (2007), os mecanismos primários do desempenho do B na fotossíntese são desconhecidos, entretanto, as funções podem ser afetadas em nível de membranas do cloroplasto, por interromper o transporte de elétrons e o gradiente de energia através da membrana, resultando em fotoinibição.

Babaeian et al. (2011), ao avaliarem plantas de girassol em três níveis de estresse hídrico (Irrigação completa, não irrigado a partir do estágio de florescimento e não irrigado a partir do enchimento de grãos) e tratamentos foliares com Fe, Mn e Zn, observaram que o Mn e Zn apresentam efeito positivo

sobre o teor de clorofila total. Quando foi aplicado o Fe no tratamento bem irrigado, houve diminuição de aproximadamente 21% no teor de clorofila total (medida com o SPAD), quando comparado aos outros níveis de irrigação. O teor de Fe na folha foi superior neste mesmo tratamento, alcançando um valor aproximado de 530 mg kg^{-1} , fato este que não aconteceu para a *G. arborea* nas condições avaliadas, apresentando teores adequados nos dois anos após-plantio.

Craven et al. (2011), ao estudarem as respostas de *Tectona grandis* (Verbenaceae, que pertence à mesma família da *G. arborea*), em dois sítios (seco tropical com 1300 mm ano^{-1} e úmido tropical com 2220 mm ano^{-1}), em duas épocas (seca e chuva), e em solos moderadamente férteis, observaram que, não houve diferenças na taxa fotossintética (A) para as duas épocas avaliadas no sítio com mais precipitação, mas a g_s foi superior nas mesmas condições avaliadas. O contrário aconteceu no sítio de menor precipitação, o que ajuda a inferir que esta espécie responde bem a condições do trópico, com precipitação adequada e boa fertilidade do solo, tal como ocorreu com a *G. arborea*, aos dois anos após-plantio, nas condições onde foi avaliada.

4.3.2. Eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água, relações taxa fotossintética com o déficit de pressão de vapor folha-ar e clorofila total com a intensidade de cor verde na folha

Há evidências de que a eficiência do uso de água (EUA) pelas plantas varia entre as espécies no mesmo ambiente, entre diferentes condições climáticas em uma mesma cultura, entre sítios e estações do ano (Taylor e Willatt, 1983). A adaptação de espécies aos efeitos do clima pode ajudar no manejo de água e, por esta razão, o uso da água reflete a complexidade de fatores envolvidos na interação planta-ambiente. De acordo com Olbrich et al. (1993), o conhecimento da eficiência do uso da água ajudaria a selecionar espécies para condições específicas. O mesmo foi observado neste estudo, em que as duas espécies apresentaram respostas diferenciadas, tanto para a EUA quanto na $EIUA$, sendo que a *P. quinata* apresentou valores mais elevados em relação à *G. arborea*, indicando maior eficiência (Figuras 2 e 3). Segundo Larcher (2000), a melhor relação entre absorção de CO_2 e perda de H_2O é alcançada quando os estômatos estão parcialmente fechados, permitindo um melhor uso da água pela planta. Isso indica que os maiores valores de A/g_s e A/E encontrados em *P. quinata* podem

ser atribuídos ao fechamento parcial dos estômatos, resultando em uma tendência do mecanismo estomático acompanhar a quantidade de água no solo, fechando os estômatos antes que ocorressem grandes alterações na fotossíntese líquida (Figura 2 e 3). Isto pode estar relacionado ao fato da espécie não ter sido responsiva aos tratamentos, até a idade avaliada.

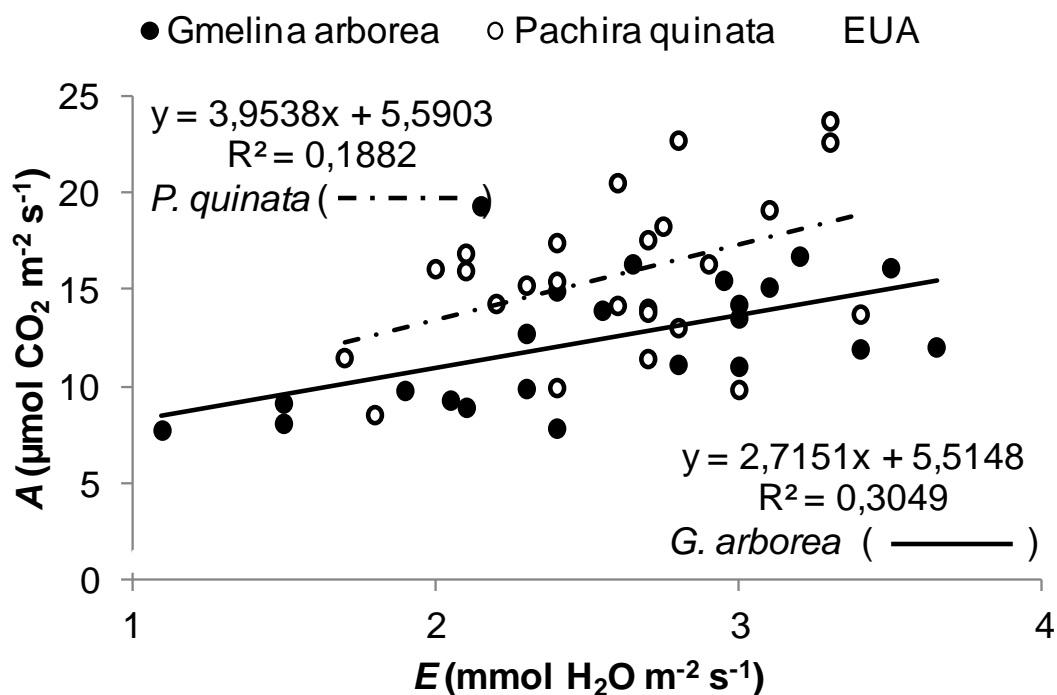


Figura 2: Eficiência do uso da água (*EUA*), medida pela correlação entre fotossíntese e transpiração (*A/E*), em *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* dois anos após plantio, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.

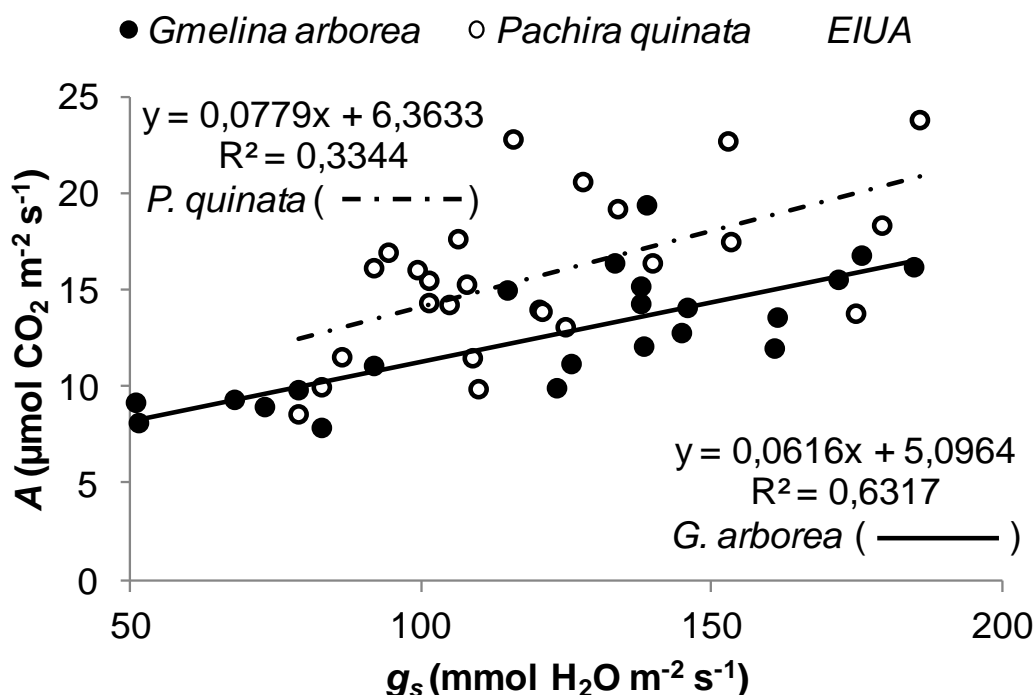


Figura 3: Eficiência intrínseca do uso da água (*EIUA*), medida pela correlação entre fotossíntese e condutância estomática (A/g_s), em *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* dois anos após plantio, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.

Não houve diferenças estatísticas para nenhuma das características fisiológicas avaliadas em *P. quinata* (Tabela 25).

Na *G. arborea*, nos tratamentos onde foi aplicado o B ($2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e a mistura de B+Fe ($2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de B + $1,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de Fe), a relação entre a taxa fotossintética (A) e a transpiração (E), apresentou relações lineares negativas, dadas pelos valores altos de condutância estomática (figura 4, em destaque). Apesar do bom funcionamento do aparato fotossintético, mostrado pela eficiência carboxilativa, percebe-se baixa *EUA* nos dois tratamentos, devido à alta condutância estomática. A partir da relação A/E , foi possível obter a razão de transpiração ($1/\text{inclinação da curva}$), apresentando menores valores os mesmos tratamentos supramencionados, de $0,25$ e $0,29 \text{ mmol de H}_2\text{O transpirada para cada } \mu\text{mol de CO}_2 \text{ assimilado}$ ($EUA = 4,0$ e $3,4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, dados obtidos pelo inverso da razão de transpiração), o que pode ser observado na figura 4. Ferraz (2012), ao avaliar a *EUA* em clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, sem déficit hídrico, obteve valor máximo de $0,18 \text{ mmol de H}_2\text{O transpirada para cada } \mu\text{mol de CO}_2 \text{ assimilado}$ ($EUA = 5,37 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1}$

$^1\text{H}_2\text{O}$), o que corresponde a 13,1 mg de CO_2 por grama de água transpirada, valores estes que foram menores aos obtidos nas condições avaliadas para *G arborea* e *P. quinata*.

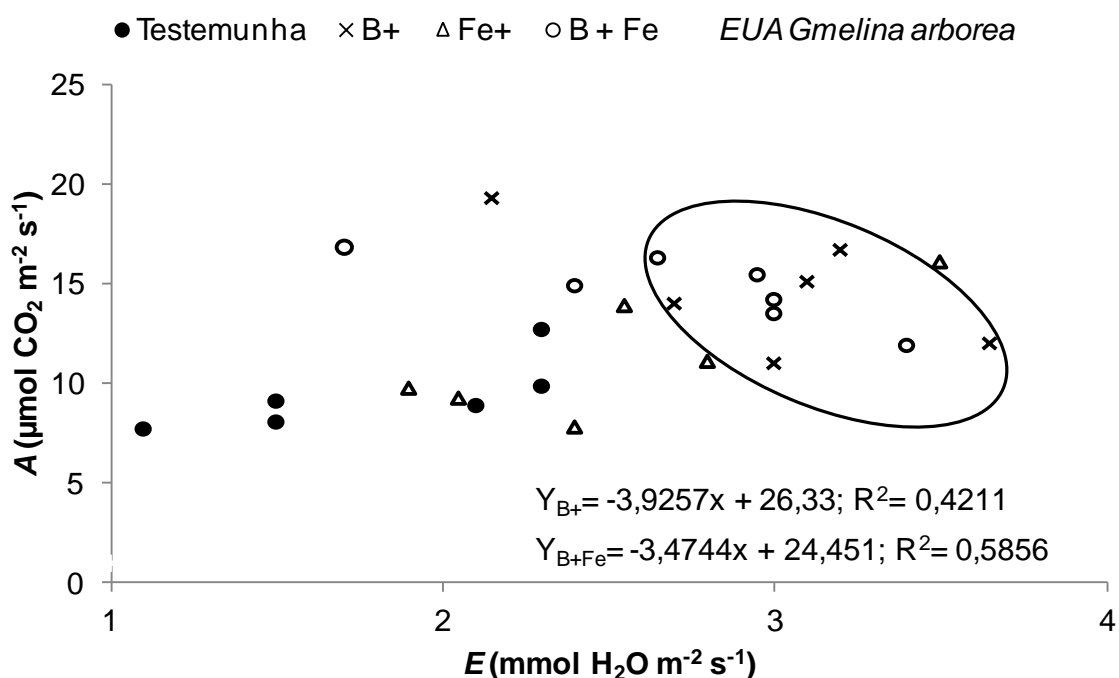


Figura 4: Eficiência do uso da água (*EUA*) em *Gmelina arborea* dois anos após plantio e cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.

Na *EIUA*, esta relação linear negativa foi observada unicamente no tratamento B+Fe apresentando valores de $97,82 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ mmol}^{-1}$ de H_2O (Figura 5, em destaque). Roza (2010), ao estudar plantas de *Jotropha curcas* sob irrigação plena, encontrou que esta espécie apresentou valores de $8,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e de $148,65 \mu\text{mol mol}^{-1}$ para as relações A/E e A/g_s , respectivamente. Gessler et al. (2008), sobre as mesmas condições hídricas, em solos arenoso em áreas de restingas, encontraram em *Allagoptera arenaria* valores de e $3,7 \mu\text{dmol mmol}^{-1}$ e $81,2 \mu\text{mol mol}^{-1}$ para as mesmas realções.

Em *Vitis*, Chaves et al. (2003) e Pita et al. (2005), relatam que a diminuição da E e g_s , assim como, da taxa de assimilação líquida, em consequência do fechamento estomático são as primeiras respostas para reduzir a perda da água pelas plantas.

A diferença de resultados na *EUA* e *EIUA* ocorre, pois, apesar de ambas terem a mesma unidade, a *EUA*, também chamada de eficiência da transpiração

depende da planta e das condições ambientais; por outro lado a *EIUA* mede diferenças relacionadas com a capacidade da folha para regular a fotossíntese e a condutância estomática, que são independentes das condições atmosféricas no momento da medida (Medrano et al., 2007). A literatura não reporta informação das relações destas características usando tratamentos com B e Fe para espécies arbóreas. A maioria dos trabalhos encontrados na literatura utiliza esta relação para estabelecer o efeito do estresse hídrico sobre diferentes espécies ou clones. Roza (2010), ao avaliar o efeito do déficit hídrico controlado no solo com cinco teores de água (-167,03; -91,25; -47,94; -27,3 e -15,0 kPa), sob a correlação A/g_s (*EUA*) e fisiologia de plantas jovens de *Jatropha curcas* (L), encontrou correlação positiva entre A e g_s em valores de $g_s < 0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Este mesmo autor definiu o valor limite de g_s ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), abaixo do qual se observa aumento na concentração de CO_2 interno e redução de A/g_s , ratificando a provável predominância de limitações não estomáticas à fotossíntese a partir desse nível de estresse.

Costa e Marengo (2009), ao relacionarem os valores de A , g_s e potencial hídrico (Ψ) da folha de *Carapa guianensis* (Aubl.) coletados a diferentes horas do dia (07:00 às 17:00h), observaram que as correlações entre Ψ e g_s e entre A e g_s foram positivas, porém baixas com $r=0,27$ e $0,37$, respectivamente. Os autores explicam que a baixa correlação entre A e g_s e entre g_s e Ψ confirma que tanto a A quanto a g_s são características da planta que respondem simultaneamente a um conjunto de fatores que interagem de forma coordenada, mas altamente complexa. Desse modo, não é comum encontrar uma baixa correlação entre A e g_s em condições naturais de luminosidade e umidade do ar. Além disso, uma pobre correlação entre A e g_s pode indicar ausência de uniformidade na abertura dos estômatos na superfície da folha.

Martim et al. (2009), ao submeterem plantas de *Vitis vinifera* cv. Cabernet Sauvignon a dois níveis de irrigação (capacidade de campo e irrigação suspensa durante 12 dias) e avaliarem a *EIUA* (obtida mediante a correlação de A e E) e eficiência carboxilativa (obtida mediante a correlação de A e concentração interna de CO_2 - C_i) a 1, 6 e 12 dias após suspenso a irrigação, observaram que plantas sobre estresse hídrico exibiram um aumento progressivo na *EIUA* de 12, 38 e 175%, à medida que aumentava o tempo de estresse hídrico, com respeito ao controle no mesmo tempo avaliado. A eficiência carboxilativa diminuiu de 0,047 a

0,012 $\mu\text{mol CO}_2/\text{ppm CO}_2$ com o progresso do estresse. Os autores observaram que 48 h depois de reidratadas as plantas, 80% da eficiência carboxilativa foi recuperada, o que indica que o aparato fotossintético desta cultivar não foi danificado pelo estresse hídrico a que foi submetido no tempo avaliado, o que talvez seja uma estratégia de promover o fechamento estomático quando ocorre diminuição da A , levando a uma melhor $EIUA$. Cifre et al. (2005) relatam que o déficit hídrico do solo reduz a fotossíntese em videiras e que o fechamento dos estômatos é um dos primeiros processos que ocorrem nas folhas em resposta à seca. No entanto, tem-se observado uma correlação positiva entre a g_s e o Ψ em algumas condições de estresse, mas não em todos os genótipos.

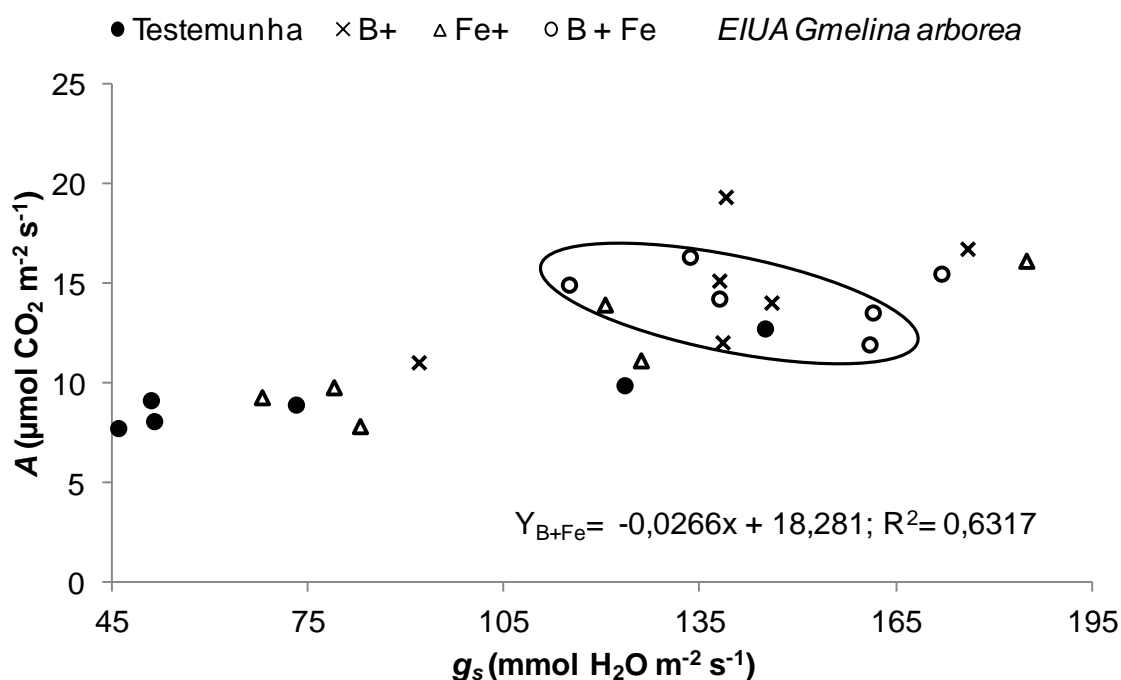


Figura 5: Eficiência intrínseca do uso da água ($EIUA$) em *Gmelina arborea*, dois anos após plantio, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe em Zambrano, Bolívar- Colômbia.

Na *G. arborea*, a testemunha apresentou o valor mais alto de $DPV_{folha-ar}$ (2,52 kPa), quando comparado com os valores obtidos nos tratamentos B e mistura B+Fe (2,18 e 2,11 kPa, respectivamente). Este alto valor de $DPV_{folha-ar}$ resultou em baixa condutância estomática ($0,082 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o que por sua vez diminuiu a taxa transpiratória ($1,80 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o que resultou na diminuição da taxa fotossintética de 63,9 e 65,2%, quando comparada com a

obtida nos tratamentos B e B+Fe (Tabela 25). Isto reflete o apresentado na figura 6 (em destaque), onde a testemunha apresentou os valores mais altos de DPV com os menores valores de fotossíntese. Demonstrando-se que apesar de não haver efeito dos tratamentos sobre as características biométricas avaliadas até dois anos após plantio, esta espécie apresenta resposta à aplicação de B e a sua mistura com Fe, nas trocas gasosas, podendo vir a refletir em outra etapa de desenvolvimento.

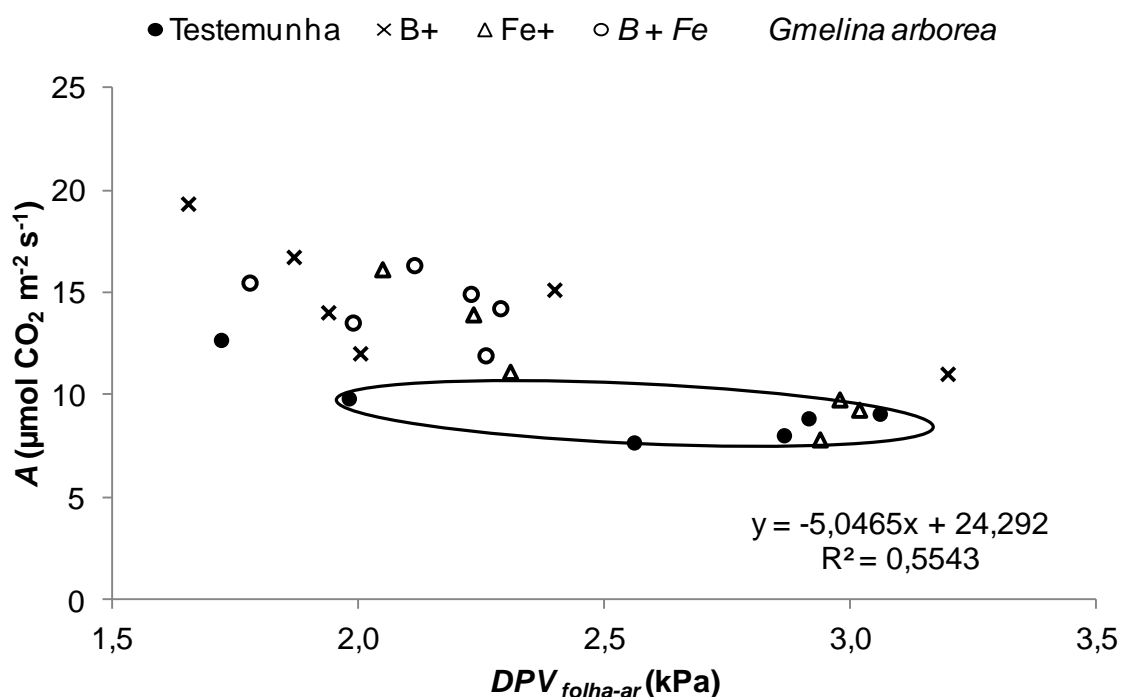


Figura 6: Relação da taxa fotossintética (A) com o déficit de pressão de vapor folha-ar ($DPV_{folha-ar}$) em *Gmelina arborea*, dois anos após plantio, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe, em Zambrano, Bolívar- Colômbia.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Na Colômbia, as espécies *Gmelina arborea* e *Pachira quinata* vêm se destacando no uso industrial e foram priorizadas pelos planos de desenvolvimento territorial no Caribe Colombiano. Adicionalmente, é necessário desenvolver pesquisas que permitam fortalecer a atividade florestal, com foco em espécies de rápido crescimento e alta qualidade da madeira.

A Região do Caribe e a sub-região do Médio Magdalena apresentam, nos Vertissolos, como principais limitações para o uso agropecuário, pH elevado; alta porcentagem de argila 2:1; alta saturação por bases e teores de Ca e Mg, que podem provocar antagonismo com Fe e B, assim como baixa porcentagem de matéria orgânica.

No entanto, sabendo-se do problema que apresentam os solos na região do Caribe Colombiano, não há informações sobre a resposta de *G. arborea* e *P. quinata* à adubação com B e Fe.

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo geral avaliar os efeitos da adubação com B e Fe, durante os dois primeiros anos após o plantio destas espécies no Caribe Colombiano, com objetivos específicos de avaliar: 1) o crescimento inicial de *G. arborea* e *P. quinata*, adubadas com diferentes níveis de B e Fe, durante os dois primeiros anos após o plantio; 2) os teores nutricionais de *G. arborea* e *P. quinata*, de povoamentos adubados com diferentes níveis de B e Fe, nos dois primeiros anos após o plantio; 3) a resposta fisiológica de *G. arborea*

e *P. quinata*, de povoamentos adubados com diferentes níveis de B e Fe, aos dois anos após o plantio.

Foi conduzido um experimento por espécie, para avaliação da dosagem de B e Fe na adubação de implantação até dois anos pós-plantio. Foram testadas 10 diferentes combinações destes nutrientes e avaliados os teores nutricionais das plantas e solo, altura, diâmetro a altura do peito (DAP), estimativa de volume e massa seca da parte aérea, assim como, índice de cor verde da folha (SPAD), teor de clorofila, trocas gasosas, eficiência do uso da água e eficiência intrínseca do uso da água.

Os resultados mostraram que:

- Não houve influência dos tratamentos sobre a altura, DAP, volume e massa seca da parte aérea, para as duas espécies estudadas até dois anos após plantio;
- As análises foliares indicam que os conteúdos de nutrientes no solo foram suficientes para as necessidades nutricionais das espécies estudadas;
- Nas duas espécies o índice de cor verde (SPAD) e o teor de clorofila total não foram influenciados pelos tratamentos avaliados;
- Na *P. quinta* não houve efeito dos tratamentos sobre nenhuma das variáveis fisiológicas avaliadas;
- Na *G. arborea* as plantas que receberam B ou a mistura do B+Fe apresentaram maior taxa fotossintética, menor condutância estomática e transpiração, com relação à testemunha;
- A espécie *P. quinata* mostrou-se superior na eficiência do uso da água e na eficiência intrínseca do uso da água, quando comparada com a *G. arborea* aos dois anos após plantio.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- Abadia, A., Poc, A., Abadia, J. (1991) Could iron nutrition status be evaluated through photosynthetic pigment changes?. *J. Plant Nutr.* 14:978-999.
- Abreu, C.A. de., Lopes, A.S., Santos, G.C.G. dos. (2007) Micronutrientes. *In: Novais, R.F., Alvarez, V.V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B., Neves, J.C.L. (Eds.) Fertilidade do Solo.* Viçosa: Sociedade brasileira da Ciencia do Solo, p. 646-736.
- Alfaro, E.J. (2000) Los fenomenos de El Niño y La Niña. Escuela de Física e Centro de Investigaciones Geofísicas. Universidade de Costa Rica. *In: Curso Regional sobre los desastres naturales y su impacto social en Centroamérica y México. XXVI Curso Centroamericano y del Caribe de Física.* Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. Del 6 al 10 de noviembre del 2000. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/421/AlfaroEINi%C3%B1oLaNi%C3%B1a2000.pdf?sequence=1>
- Allen, H.L. (1987) Forest fertilizers: nutrient amendment, stand productivity, and environmental impact. *Journal of Forestry* 85(2): 37-47.
- Alvarado, A. (2012a) Diagnóstico de la nutrición en plantaciones forestales. *In: Alvarado, A.; Raigosa, J. (Ed). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales.* 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, p. 97-124.

- Alvarado, A. (2012b) Nutrición y Fertilización de otras Especies Forestales Tropicales: *Bombacopsis quinata*. (Jacq.) Dugand . In: Alvarado, A., Raigosa, J. (eds). *Nutrición y Fertilización Forestal en Regiones Tropicales*. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, p. 361-370.
- Alvarado, A. (2012c). Nutrición y Fertilización de *Cedrela odorata* L. In: Alvarado, A.; Raigosa, J. (Ed). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, p. 213-220.
- Alvarado, A., Raigosa, J., Oviedo, J. (2012a) Nutrición y Fertilización de Coníferas: *Pinus* spp., *Cupressus* spp. In: Alvarado, A.; Raigosa, J. (Ed). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, p. 221-248.
- Argenta, G., Silva, P.R.F., Bortolini, C.G., Forsthofer, E.L., Strieder, M.L. (2001) Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, 13: 158-167.
- Azia, F., Stewart, K.A. (2001) Relationships between extractable chlorophyll and SPAD values in muskmelon leaves. *J. Plant Nutr.* 24: 961-966.
- Babaeian, M., Piri, I., Tavassoli, A., Esmailian, Y., Gholami, H. (2011) Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in Sistan region. *African Journal of Agricultural Research*, 6(15): 3526-3531. <http://www.academicjournals.org/ajar/PDF/pdf2011/4%20Aug/Babaeian%20et%20al.pdf>
- Bacarin, M.A., Mosquim, P.R. (1998) Relação entre a fixação de dinitrogênio e a fotossíntese líquida de dois genótipos de *Phaseolus vulgaris* L. de produtividade contrastante. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, 10 (2): 57-160.
- Banco Mundial. (2012) *Resumen Ejecutivo*. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia : un aporte para la construcción de políticas públicas. Campos, A.G., Holm-Nielsen, N., Díaz, C.G., Rubiano, D.M.V., Costa, C.R.P., Ramírez, F.C., Dickson, E. (Coordinadores y editores). Banco Mundial - Bogotá, Colombia., p. 58. https://www.gfdr.org/gfdr/sites/gfdr.org/files/Analisis_de_a_gestion_del_riesgo_de_desastres_en_Colombia_2012.pdf

- Baker, N.R.; Bowyer, J.R. (1994) *Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field*. Oxford: BIOS Scientific Publisher. ISBN I 872748 03 I. 471p.
- Barbin, D. (2003) *Planejamento e análise de experimentos agrônômicos*. Arapongas: Midas, 208 p.
- Baquero, C.E.M. (1992) Disponibilidade de boro em solos del C.I. Caribia. Disertação (Maestria en Suelos y Agua). Palmira- valel del cauca, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 139p.
- Bienfait, H.F. (1985) Regulated redox processes at the plasmalemma of plant root cells and their function iron uptake. *J. Bioenerg. Biomember.* 17:73-83.
- Boardmann, R., Cromer, R.N., Lambert, M.J., Webb, M.J. (1997) Forest plantations. *In: Reuter, D.J., Robinson, J.B. (eds.) Plant analysis, an interpretation manual*. CSIRO Publishing. Australia. p. 505-561.
- BR Global. (2010) *Importancia de los micronutrientes*. Acessado 29 de fevereiro de 2010. http://www.google.com.br/search?as_q=Importancia+del+Hierro+para+las+plantas&hl=pt-BR&num=10&btnG=Pesquisa+Google&as_epq=&as_oq=&as_eq=&lr=lang_es&cr=&as_ft=i&as_filetype=pdf&as_qdr=all&as_occt=any&as_dt=i&as_sitesearch=&as_rights=&safe=images
- Bradford, G.B. (1966) Boron. *In: Chapman, H.D. (ed.) Diagnostic criteria for plants and soils*. University of California, Div. Agric. Sci., U.S.A, Berkeley, California. p. 33-61.
- Brito, E.O.B., Silva, G.C. (2002) Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arborea* Linn. Roxb Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr Merr. *Floresta e Ambiente*. 9(1): 127-134.
- Cakmak, I., Kurz, H., Marschner, H. (1995) Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiologia Plantarum*, 95(1):.11-18.
- Cakmak, I.; Römheld, V. (1997) Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. *Plant and Soil* 193: 71-83.
- Calderon, A.I., Angerhofer, C.K., Pezzuto, J.M., Farnsworth, N.R., Foster, R., Condit, R., Gupta, M.P., Soejarto, D. D. (2000) Forest plot as a tool to demonstrate the

- pharmaceutical potential of plants in a tropical forest of Panama. *Economic Botany*, 54: 278. <http://www.springerlink.com/content/q266222q65106112/>
- Carlson, D.W. (2003) *Iron Chlorosis in trees*. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, MF-718. September, 2003. <http://www.ksre.ksu.edu/library/forst2/mf718.pdf>
- Carvalho Sobrinho, J.G de., Queiroz, L.P de. (2011) Morphological cladistic analysis of *Pseudobombax Dugand* (Malvaceae, Bombacoideae) and allied genera. *Revista Brasil. Bot.* 34(2):.197-209. <http://www.scielo.br/pdf/rbb/v34n2/a07v34n2.pdf>
- Castro, D.M. (2003) Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 27(104): 319-341. ISSN 0370-3908. http://www.accefyn.org.co/revista/Vol_27/104/319-341.pdf
- Catský, J., Sesták, Z. (1997) Photosynthesis during leaf development. In: Pessaraki, M. (Ed.) *Handbook of photosynthesis*. New York: Marcel Dekker, p. 633-660.
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza- CATIE. (1991) *Pochote: Bombacopsis quinatum (Jacq.) Dugand, especie de árbol de uso múltiple en América Central*. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico, No.172, p. 44.
- Chaves, M.M., Maroco J.P., Pereira, J.S. (2003) Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30: 239-264.
- Chen, Y., Barak, P. (1982) Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35:217-240.
- Chinchilla, O., Camacho, Y., Mora, F.; Fonseca, W. (1997) Evaluación de fertilización para pochote (*Bombacopsis quinata*) en la zona de Nicoya, Guanacaste. Universidad Nacional, Instituto de Investigación y Servicios Forestales. Heredia, Costa Rica. sp.
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J. M., Medrano, H., Flexas, J. (2005) Physiological tools for irrigation scheduling in grapevines: an open gate to improve water use efficiency?. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 106: 159-170.
- Cordero, J., Boshier, D. (2003) *Bombacopsis quinata* un árbol maderable para reforestar. *Tropical Forestry Papers*. N° 39. Oxford Forestry Institute, Oxford, UK, p. 182.

- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. (1998) *Análisis químico de suelos, tejido vegetal y aguas para riego*, Tomo 1 y 2.
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal- CONIF. (2003a) *Informe Anual 2003*. Bogotá, D. C. http://www.conif.org.co/InformesAnuales/informe_anual_conif_2003.pdf
- Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal – CONIF. (2003b) *Guía Forestal para CEIBA (Pachira quinata)*. Bogotá D.C., p. 12.
- Costa, G.F., Marengo, R.A. (2007) Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amazonica*, 37(2): 229 – 234.
- Coste, S., Baraloto, Ch., Leroy, C., Marcon, E., Renaud, A., Richardson, A.D., Roggy, J.Ch., Schimann, H., Uddling, J., Hérault, B. (2010) Assessing foliar chlorophyll contents with the SPAD-502 chlorophyll meter: a calibration test with thirteen tree species of tropical rainforest in French Guiana. *Ann. For. Sci.* 67(2010) 607, p. 5.
- Craven, D., Dent, D., Braden, D., Ashton, M.S., Berlyn, G.P., Hall, J.S. (2011) Seasonal variability of photosynthetic characteristics influences growth of eight tropical tree species at two sites with contrasting precipitation in Panama. *Forest Ecology and Management*, 261(2011): 1643–1653.
- Demmig-Adams, B., Adams, W.W. III. (1992) Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Ann Rev Plant Physiol. Plant Mol Bio.* 43: 599-626. <http://www.deepdyve.com/lp/annual-reviews/photoprotection-and-other-responses-of-plants-to-high-light-stress-vVqycFsJiM>
- Donnini, S., Castagna, A., Guidi, L., Zocchi, G., Ranieri, A. (2003) Leaf responses to reduced iron availability in two tomato genotypes: T3238FER (iron deficient) and T3238fer (iron inefficient). *Journal of Plant Nutrition.* 26: 2137-2148.
- Drechsel, P., Zech, W. (1991) Foliar nutrient levels of broad leaved tropical trees: a tabular review. *Plant and Soil, Netherlands*, 131:29-46. <http://www.springerlink.com/content/c4421216876n418q/>
- Dudal, R., Eswaran. H. (1988) Distribution, properties and classification of Vertisols. *In: Wilding, L.P., Puentes, R. (Eds). Vertisols: their distribution, properties,*

- classification and management*. Texas: Texas A&M University Printing Center, College Station, p. 1-22.
- Eaton, F.M. (1980) Boron in soil and irrigation waters and its effect on plants with particular referency to the San Joaquin Valley of Califórnia. U.S. Depart, Agric. <http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT86200442/PDF>
- El-Shintinawy, F. (1999) Structural and Functional Damage Caused by Boron Deficiency in Sunflower Leaves. *Photosynthetica*, 36: 565-573.
- Emery, T. (1982) Iron metabolism in human and plants. *Am. Sci.* 70:626-632.
- Epstein, E., Bloom, A. (2006) *Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas*. Trad. Nunes, M. E. T. Londrina. Edit Planeta, p. 405.
- Espinal, G.C.F., Martínez, C.H.J., Salazar, S.M., Acevedo, G.X. (2005) *La cadena forestal y madera en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Documento de trabajo N°64. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. p. 44. Bogotá, Marzo de 2005. http://201.234.78.28:8080/dspace/bitstream/123456789/875/1/20051121663_caracterizacion_forestal.pdf
- Esposti, M.D.D., de Siqueira, D.L., Pereira, P.R.G., Venegas, V.H.A., Salomão, L.C.C., Filho, J.A.M. (2003) Assessment of nitrogenized nutrition of citrus rootstocks using chlorophyll concentrations in the leaf. *J. Plant Nutr.* 26: 1287-1299.
- Evans, J. R. (1989) Photosyntesis – the dependence on nitrogen partitioning. *In*: Lambers, H. et al. (Eds.) *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. The Hague: SPB Academic Publishing, p.159-174.
- Evans, J. (1992) *Plantation forestry in the tropics*. 2a ed. Oxford Science Publications. New York, USA, p. 403.
- FAO. (1993) *Proceeding of the meeting of experts on forest research*. Roma. Acessado em agosto de 2009, <http://www.fao.org/docrep/016/ap424t/ap424t00.pdf>
- Fassbender, H.W. (1975) *Química de suelos*. Turialba, Costa Rica. IICA. p. 362-365.
- Ferraz, T.M. (2012) *Ecofisiologia de clones de eucalipto submetidos a restrição hídrica em condições de campo*. Tese de Doutorado do Centro de Ciências e

Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 138p.

Filho, H. G. (2006) *Boro nas Plantas*. Faculdade de Ciências Agronômicas: UNESP Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br>>. Acessado em setembro de 2009.

Fleischer, A.; Titel, C.; Ehwald, R. (1998). The boron requirement and cell wall properties of growing and stationary suspension-cultured *Chenopodium álbum* L. cells. *Plant Physiol*, 117:1401–1410. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC34904/pdf/1401.pdf>

Flexas, J., Bota, J., Cifre, J., Escalona, J.M., Galmes, J., Gulias, J., Lefi, E.K., Martinez-Canellas, S.F., Moreno, M.T., Ribas-Carbo, M., Riera, D., Sampol, B., Medrano, H. (2004) Understanding down regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Annals Applied Biology*, 144: 273–283. <http://www.irnase.csic.es/users/jefer/Articulos.../flexas2004.pdf>

Gessler, A., Nitschke, R., Mattos, E.A., Zaluar, H.L.T., Scarano, F.R., Rennenberg, H., Luttge, U. (2008) Comparison of the performance of three different ecophysiological life forms in a sandy coastal restinga ecosystem of SE-Brazil: a nodulated N₂-fixing C₃-shrub [*Andira legalis* (Vell.) Toledo], a CAM-shrub (*Clusia hilariana* Schlttdl.) and a tap root C₃-hemicryptophyte [*Allagoptera arenaria* (Gomes) O. Ktze.]. *Trees*, 22:105-119. <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00468-007-0174-7>

Gildersleeve, R.R., Ocampagh, W.R. (1989) Greenhouse evaluation of subterranean clover species for susceptibility to iron-deficiency chlorosis. *Crop Sci.* 29:949-951.

Goldbach, H., Wimmer, M. (2007) Boron in plants and animals: Is there a role beyond cell-wall structure? *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170: 39-48.

Gonçalves, J.L.M. (1995) Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. *Documentos Florestais*, 5:1-23.

Guerrero, R.R. (2008) *Fertilización de cultivos em clima cálido*. Monomeros Colombo venezolanos. S.A. (EMA). 290 p. acessado em setembro de 2008. <http://www.monomeros.com/descargas/dpmanualcalido.pdf>

- Gupta, U. C., Jame, Y.W., Campbell, C.A., Leyshon, A.J., Nicholaichuk, W. (1985) Boron toxicity and deficiency: a review. *Canadian Journal Soil Science*, 65:381-409.
- Gutiérrez-Soto, M.V., Pacheco, A., Holbrook, N.M. (2008) Leaf age and the timing of leaf abscission in two tropical dry forest trees. *Trees*, (22):393–401.
- Hajiboland, R., Bastani, S. (2012) Tolerance to water stress in boron-deficient tea (*Camellia sinensis*) plants. *Folia Hort.* 24(1): 41-51.
- Hajiboland, R., Bastani, S., Bahrami, S.R. (2011) Effect of light intensity on photosynthesis and antioxidant defense in boron deficient tea plants. *Acta Biologica Szegediensis*, 55(2):265-272. <http://www.sci.u-szeged.hu/ABS>
- Hajiboland, R., Farhanghi, F. (2011) Effect of low boron supply in turnip plants under drought stress. *Biologia Plantarum*, 55 (4): 775-778.
- Hansen, N.C., Hopkins, B.G., Ellsworth, J.W., Jolley, V.D. (2006) Iron nutrition in field crops. In: Barton, L.L., Abadia, J. (Ed.) *Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms*. Dordrecht: Springer, 2006. p. 23-59. http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-4743-6_2?LI=true#page-2
- Hendry, G.A.F., Price, A.H. (1993) Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F., Grime, J.P. (eds) *Methods in comparative plant ecology*. London: Chapman e Hall, p. 148 -152.
- Henríquez, C., Cabalceta, G., Bertsch, F., Alvarado, A. (2010) *Principales suelos de Costa Rica*. Asociación costarricense de las ciencias del suelo, p.10. Acessado em novembro de 2010 em: www.mag.go.cr/biblioteca_virtual.../suelos-cr.html
- Hubble, G.D. (1984) The cracking clay soils: Definition, distribution, nature, genesis, and use. In: McGarity, J.W., Hoult, E.H., So; H.B. (Eds.) *The properties and utilization of cracking clay soils*. Armidale: New South Wales, p. 3-13. (*Reviews in Rural Science* 5).
- Instituto Colombiano Agrepecuario-ICA. (1992) *Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación*. Produmedios, Santafé de Bogotá.
- Jaramillo, J.D.F. (2002) *Introducción a la ciencia del suelo*. [Libro en CD-ROM]. 1a ed. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

- Jaramillo J.D.F. (2004) *El recurso suelo y la competitividad del sector agrario Colombiano*. Cátedra Pedro Nel Gómez 01-2004. Competitividad del Sector Agrario Colombiano: Posibilidades y Limitaciones. Universidad Nacional de Colombia- Medellín, Junio de 2004. 26p.
- Jarvis P.G. (1985) Transpiration and assimilation of tree and agricultural crops: the "omega" factor. *In: Cannell, M.G.R., Jackson, J.E. (eds) Attributes of trees and crop plants*. Abbots Ripton, UK: Institute of Terrestrial Ecology.
- Jarvis, P.G, McNaughton, K.G. (1986) Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advances in Ecology Research*, 15: 1-49.
- Jayamadhavan, A., Sudhakara, K., Washid, P. A. (2000) Methods of leaf sampling in teak (*Tectona grandis*) for nutrient analysis. *Journal of Tropical Forest Science*, 12(2): 227-237.
- Jesus, S.V., Marengo, R.J. (2008) O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas. *Acta amazônica*, 38: 815-818.
- Jifon, J.L., Syvertsen, J.P., Whaley, E. (2005) Growth environment and leaf anatomy affect nondestructive estimates of chlorophyll and nitrogen in Citrus sp. leaves. *J Am Soc Hortic Sci*, 130: 152-158.
- Juárez, M., Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A. (2008a) Hierro en el sistema Suelo-Planta. Acessado em fevereiro de 2008, http://www.google.com.br/search?hl=ptBR&lr=lang_es&q=Importancia+del+Hierro+para+las+plantas+filetype:pdf&start=10&sa=N
- Juárez, M., Sánchez-Sánchez, A., Cerdán, M. (2008b). Nutrición férrica de los cultivos. Acessado em fevereiro de 2008, em: <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1847/1/Nutrici%C3%B3n%20f%C3%A9rrica.pdf>
- Judd, T.S., Bennett, L.T., Weston, Ch.J., Attiwill, P.M., Whiteman, Ph.H. (1996) The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 82: 87-101.
- Kang, S., Zhang, J. (2004) Controlled alternate partial rootzone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *J. Exp. Bot.* 55: 2437–2446.

- Kastori, R., Plesnicar, M., Pankovic, D., Sakac, Z. (1995) Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and soluble carbohydrates in sunflower leaves as affected by boron deficiency. *J Plant Nutr.* 18: 1751-1763.
- Kiehl, E.J. (1985) *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 492p
- Kirkby, E.A., Römheld, V. (2007) *Micronutrients in plant physiology: functions, uptake and mobility*. Proceedings 543, The International Fertilizer Society, P. O. Box, York, YO32 5YS, United Kingdom.
- Kot, S.F. (2008) Boron sources, speciation and its potential impact on health. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 79: 259–263.
- Landis, T.D. (1989) Mineral nutrients and fertilization. *In*: Landis, T.D., Tinus R.W., McDonald, S.E., Barnett, J.P. *The Container Tree Nursery Manual*, Volume 4. Agric. Handbook. 674. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 1-67.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RIMA. 531p.
- Loué, A. (1993) *Oligo-elements in agriculture*. Antibes: Nathan, 577 p.
- Leite, S.M.M., Marino, C.L., Bonine, C.A.V. (2010) Respostas de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* à supressão de boro. *Sci. For.*, Piracicaba, 38(85): 19-25. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr85/cap02.pdf>
- Lima, J.P.C. de; Mello Filho, J.A. de; Freire, L.R. (2000) Absorção de nitrogênio para *Schizolobium parahyba* (VELL.) BLAKE, em fase de viveiro em três ambientes. *Floresta e Ambiente*, 7(1): 11-18.
- Llamozas S.S., Duno de Stefano, R., Meier, W., Riina, R., Stauffer, F., Aymard, G., Huber, O., Ortiz, R. (2003) *Libro Rojo de la flora venezolana*. Caracas: Provita, Fundación Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela. “Dr. Tobías Lasser”, Conservación Internacional, 640 p. <http://www.fpolar.org.ve/publicac/ambpubl.html>
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2da ed. Academic Press, London, p. 889. ISBN 0-12-473542 (HB). ISBN 0-12-473543-6 (PB).
- Martim, S.A., Santos, M.P., Peçanha, A.L., Pommer, C., Campostrini, E., Viana, A.P., Façanha, A.R., Bressan-Smith, R. (2009) Photosynthesis and cell respiration

- modulated by water deficit in grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon. *Braz. J. Plant Physiol.* 21(2): 95-102.
- Martínez, M.T.G. (2012) *Las telecomunicaciones como herramienta de prevención: antes-durante y después del fenómeno La Niña 2010-2011/2011-2012*. Apresentação do Instituto de Hidrología. Meteorología y estudios ambientales- IDEAM. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. <http://www.itu.int/ITU-D/emergencytelecoms/events/bogota2012/presentation/PresentationIdeamSp.pdf>
- Martinez, H.E.P., Haag, H.P., Moraes de. M.L.T. (1989) Micronutrientes em *Pinus caribaea* Morelet I. Efeitos da omissão sobre o desenvolvimento e sintomas de carência. *An. ESALQ*, Piracicaba, 46 (parte 1): 225-255.
- Marquard, R.D., Tipton, J.L. (1987) Relationship between extractable chlorophyll and in situ method to estimate leaf green. *Hort Science*, 22: 13-27.
- Mattos Junior, D., Cantarella, H., Quaggio, J.AI. (2002) Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de cítricos. Laranja. *Cordeirópolis- SP*, 23(1): 263-270.
- McClendon, J.H., Fukshansky, L.. (1990) On the interpretation of absorption spectra of leaves I. The introduction and the correction of leaf spectra for surface reflection. *Photochem. Photobiol.* 51: 203–210.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., Gulías, J. (2007) Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, 43: 63-84. www.cervantesvirtual.com/.../eficiencia-en-el-uso-del-agua-por-las-pl...
- Mendonça, V., Abreu, N.A.A. de., Souza, H.A. de., Teixeira, G.A., Hafle, O.M., Ramos, J. D. (2008) Diferentes ambientes e osmocote na produção de mudas de tamarindeiro (*Tamarindus indica*). *Ciências e Agrotecnologia*, Lavras, 32(2): 391-397.
- Meisel, R.A., Pérez V.G.J. (2006) *Geografía física y poblamiento en la Costa Caribe colombiana*. Documento de trabajo sobre economía regional, No. 73. Banco de la republica de Colombia. Centro de estudios económicos regionales (CEER)-Cartagena. Junio, 2006. ISSN 1692- 3715. <http://www.banrep.gov.co/documentos/publicaciones/regional/documentos/DTSER-73.pdf>

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural- MADR. (2009) *Invierta en Colombia*. Sector Forestal. Editorial: Fiducoldex - Fideicomiso Proexport Colombia. 1 (1): p. 26, Julio de 2009. Bogotá D.C. http://www.inviertaencolombia.com.co/Adjuntos/089_Sector%20Forestal%202009-08-13.pdf
- Montero, M. M. (1999) Factores de sitio que influyen en el crecimiento de *Tectona grandis* L.F. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand, en Costa Rica. Tesis de Maestría. Universidad Austral de Chile, Valdivia/ CATIE, Turrialba, Costa Rica. 111 p.
- Möttönen, M., Lehto, T., Aphalo, P.J., Kukkola, M., Mälkönen, E. (2003) Response of mature stands of Norway spruce (*Picea abies*) to boron fertilization. *Forest Ecology and Management*, 180(2003): 401–412
- Moya, R., Tomazello, M. (2007) Wood density and fiber dimensions of *Gmelina arborea* in fast growth trees in Costa Rica: relation to the growth rate. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 16: 267-276.
- Müller, J., Aeschbacher, R., Wingler, A., Boller, T., Wiemken, A. (2001) Trehalose and Trehalase in Arabidopsis. *Plant Physiol*, 125: 1086–1093.
- Murillo, R., Alvarado, A. (2012) Nutrición y Fertilización de *Gmelina arborea* ROXB. In: Alvarado, A.; Raigosa, J. (Ed). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. 1 ed. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, p. 285-298.
- Murillo, O., Valerio, J. (1991) *Melina (Gmelina arborea), árbol de uso múltiple en América Central*. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico 181. Turrialba, CR. 60 p.
- Murillo, R., Brenes, F. (1997) Evaluación de algunos factores ambientales que afectan la calidad de sitio a nivel de micrositio para la melina del huerto semillero de Ston Forestal plantada en suelos planos y fértiles de la Zona Sur. Unidos por el desarrollo del recurso forestal: ante el próximo milenio. *Resúmenes de ponencias. 3er Congreso Forestal Nacional*. San José (Costa Rica). 27-29 Ago 1997. San José (Costa Rica). Impresos Belén. 1997. p. 101-103.
- Nable, R.O., Banuelos, G.S., Paull, J.G. (1997) Boron toxicity. *Plant Soil*, 193: 181-198.

- Nauš, J., Prokopová, J., Řebíček, J., Špundová, N. (2010) SPAD chlorophyll meter reading can be pronouncedly affected by chloroplast movement. *Photosynth. Res.* 105: 265-271.
- Neely, D. (1976) Iron deficiency chlorosis of shade trees. *Journal of Arboriculture*, p, 128-130. July 1976. <http://joa.isa-arbor.com/request.asp?JournalID=1&ArticleID=1392&Type=2>
- Netto, A.T., Campostrino, E., Oliveira, J.G., Yamanoshi, O.K. (2002) Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible user for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 14 (3): 203-210.
- Neufeld, H.S., Chappelka, A.H., Somers, G.L., Burkey, K.O., Davison, A.W., Finkelstein, P.L. (2006) Visible foliar injury caused by ozone alters the relationship between SPAD meter readings and chlorophyll concentration in cutleaf coneflower. *Photosynth Res*, 87: 281–286.
- NOM-021-RECNAT-2000. (2002) *Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario Oficial, 31 de diciembre de 2002. Secretaría de medio Ambiente y recursos Naturales de Mexico. <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>
- Noodén, L.D., Guiamét, J.J., John, I. (1997) Senescence mechanisms. *Physiol Plant*, 101: 746–753.
- Olbrich, B.W., Roux, D.Le, Poulter, A.G. (1993) Variation in water use efficiency and G13C levels in *Eucalyptus grandis* clones. *J. Hydrology*, 150: 615-633.
- Olykan, S.T., Xue, J., Clinton, P.W., Skinner, M.F., Graham, D.J., Leckie, A.C. (2008) Effect of boron fertiliser, weed control and genotype on foliar nutrients and tree growth of juvenile *Pinus radiata* at two contrasting sites in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 255: 1196-1209.
- Oliva, M.A., Barros, N.F., Gomes, M.M.S. (1989) Seca de ponteiros em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn em relação a estresse hídrico e nutrição mineral. *Revista Árvore*, 13(1): 19-33.

- Osman, K.T., Gafur, M.A., Rahman, M.M., Rahim, A., Ali, M. (2002) Growth and nutrition of *Gmelina arborea* Robx. in the hilly areas of Banderban, Bangladesh. *Malaysian Forester*, 65(3):129-134.
- Papadakis, I.E., Dimassi, K.N., Bosabalidis, A.M., Thermos, I.N., Patakas, A., Giannakoula, A. (2004) Effects of B excess on some physiological and anatomical parameters of 'Navelina' orange plants grafted on two rootstocks. *Environ. Exp. Bot.* 51: 247-257.
- Parks, J.L., Edwards, M. (2005) Boron in the environment. *Critical Reviews in Environ. Sci. Biotechnol.* 35: 81-114.
- Percival, G.C., Keary, L.P., Noviss, K. (2008) The Potential of a Chlorophyll Content SPAD Meter to Quantify Nutrient Stress in Foliar Tissue of Sycamore (*Acer pseudoplatanus*), English Oak (*Quercus robur*), and European Beech (*Fagus sylvatica*). *Arboriculture & Urban Forestry*, 34(2): 89- 100.
- Pinho, L.G.R., Campostrini, E., Monnerat, P.H., Netto, A.T., Pires, A.A., Marciano, C.R., Soares, Y.J.B. (2010) Boron deficiency affects gas exchange and photochemical efficiency (JPI test parameters) in green dwarf coconut. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3): 439- 451.
- Pita, P., Canas, I., Soria, F., Ruiz, F., Toval, G. (2005) Use of physiological traits in tree breeding for improved yield in drought-prone environments: The case of *Eucalyptus globulus*. *Investigación Agraria*, Madri, 14: 383-393.
- PIZANO S.A. (2009). *Actividad forestal*. http://www.pizano.com.co/actividad_forestal/ acessado em janeiro de 2009.
- Ramos, S.J., Faquin, V., Ferreira, R.M.A., Araújo, J.L., Carvalho, J.G. (2009) Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois Latossolos sob influência de doses de Boro e disponibilidade de água. *R. Árvore*, Viçosa-MG, 33(1): 57-65.
- Reichardt, K. (1985) *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.
- Renó, N.B., Siqueira, J.O., Curi, N., Vale, F. R do. (1997) Limitações nutricionais ao crescimento inicial de quatro espécies arbóreas nativas em Latossolo Vermelho-Amarelo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília: 32: 17-25.

- Rivera, O.P., Meza, C.B.I., Garza de la, R.F.R., Mendoza Flores, M.G., Barra, E.J.D. (2007) Evaluation of different iron compounds in chlorotic Italian lemon trees (*Citrus lemon*). *Plant Physiology and Biochemistry*, 45(5): 330-334.
- Rivera, M.R., Zuluaga, J.J., Romero, J.F., Baquero, C.M., Gil, L.F.V. (2010) Nivel crítico nutricional de Ca, Mg, Fe y B en plantaciones de *Gmelina arborea* y *Pachira quinata* en el Caribe Colombiano. Resumen y Banner presentado en el *XII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*. Bogotá, D.C. 3 de noviembre de 2010.
- Rojas, A., Moreno, L., Melgarejo, L.M., Rodríguez, M. (2012) Physiological response of gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.) to hydric conditions of the Colombian Caribbean. *Agronomía Colombiana*, 30(1): 52-58.
- Rojas R.F., Murillo G.O. (2004) Capitulo 1. Botánica y ecología. In: Rojas et al., 2004. *Manual para productores de melina (Gmelina arborea) en Costa Rica*. Cartago 2004. http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf
- Romero, P., Botia, P. (2006) Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 158-173.
- Romero, J.L., Siqueira, A.P., Ribeiro, M.S., Permanhani, M., Lopes, T.S., Lima, R.S.N., Lourdes, Z., Stofel, C., Campostrini, E. (2012) Crecimiento y estado nutricional de dos especies forestales (*Gmelina arborea* y *Pachira quinata*) en función de la fertilización nitrogenada en fase de vivero. Resumen e Banner presentado em: *XXIX reunión argentina de fisiología vegetal*, Mar del Plata, 17 al 20 de septiembre de 2012, p. 233.
- Römheld, V. (1987) Existente of two differece strategies for the acquisition of iron in higher plants. In: Winkelmann, G. Van der Helm, D., Neiland, J. B. VCH-Verlag. Weinheim. *Iron transport in microbes, plant and animals*, p. 353-374.
- Roza, F.A. (2010) *Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de Jatropha curcas L. submetidas à deficiência hídrica*. Dissertacao da Producao Vegetal, da Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC, 78p.
- Rubiano, D.J.R. (2010) *Variabilidad especial de las propiedades del suelo en relación con su producción, en plantaciones industriales de Ceiba roja (Pachira*

- quinata*). Dissertação da Universidad Nacional de Colombia, facultad de agronomía; Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Maestría en Geomática, Bogotá, 2010. 194p.
- Sakya, A.T., Dell, B., Huang, L. (2002) Boron requirements for *Eucalyptus globulus* seedlings. *Plant and Soil*, 246(1): 87-95.
- Saito, T., Terashima, I. (2004) Reversible decreases in the bulk elastic modulus of mature leaves of deciduous *Quercus* species subjected to two drought treatments. *Plant, Cell Environment*, 27: 863-875.
- Savory, B.M. (1962) Boron deficiency in *Eucalyptus* in Northern Rhodesia. Empire. *Forest Review*, 41(2): 118-126.
- Schaper, H., Chacko, E.K. (1991) Relation between extractable chlorophyll meter readings in leaves of eight tropical and subtropical fruit tree species. *Journal Plant Physiology*, 138: 674-677.
- Segura, M., Etxaleku, N., Castillo, A., Salazar, M., Alvarado, A. (2005a) Respuesta a la fertilización con P en plantaciones de Jaúl (*Alnus acuminata*) en Andisoles de la cuenca del Río Virilla, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(2): 121-134. www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htm
- Segura, M., Castillo, A., Alvarado, A., Blanco, F. (2005b) Extracción de nutrientes en plantaciones de Jaúl (*Alnus acuminata*) en la cuenca del Río Virilla, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(2): 109-120.
- Sgarbi, F., Silveira, R.L.V.A., Takahashi, E.N., Camargo, M.A.F. (1999) Crescimento e produção de biomassa de clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em condições de deficiência de macronutrientes, B e Zn. *Scientia Forestalis*, 56: 69-82.
- Shelp, B.J.(1993) Physiology and biochemistry of boron in plants. In: Gupta, U.C. *Boron and its role in crop production*. Boca Raton: CRC Press, 1993. p.53-85.
- Shorrocks, V.M. (1997) The occurrence and correction of boron deficiency. *Plant and Soil*, 193: 121-148.
- SINCHI- Instituto Amazónico de Investigación. (2006) *Libro rojo de plantas de Colombia. Especies maderables amenazadas I parte*. Cárdenas, D.L., Salinas,

- N.R. (Ed). Ministerios de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial de Colombia. 169p.
- Silveira, R.L.V. de A., Moreira, A., Takashi, E.N., Sgarbi, F., Branco, E.F. (2002) Sintomas de deficiência de macronutrientes e de Boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, 8(2):107-116. http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/13-02-20092985v8_n2_nt%2001.pdf
- Silveira, R. L.V.A., Higashi, E.N., Gonçalves, A.N., Moreira, A. (2004) Evaluation of the nutritional status of *Eucalyptus*: visual and foliar diagnosis and their interpretation. In: Gonçalves, J.L.M., Benedetti, V. (eds) *Forest nutrition and fertilization*. Piracicaba: IPEF, 2004. p.85-111.
- Silveira, R.L.V.A., Gonçalves, A.N., Krüner, T.L. (1998) Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. *Scientia Forestalis*, 53: 57-70.
- Smith, B.R., Fisher, P.R., Argo, W.R. (2004) Growth and pigment conten of container-grown impatiens and Petunia in relation to root substrate pH and ap'lied micronutrient concentration. *Hort Science*, 39 (6): 1421-1425.
- Soldatini, G.F., Tognini, M., Castagna, A., Baldan, B., Ranieri, A. (2000) Alterations in thylakoid membrane composition induced by iron starvation in sunflower plants. *J. of Plant Nutrition*, 23: 1717-1732.
- Souza, T.R. de., Salomão, L.C., Andrade, T.F. de., Bôas, R.L.V., Quaggio, J.A. (2011) Medida indireta da clorofila e sua relação com o manejo da adubação nitrogenada em plantas cítricas fertirrigadas. *Rev. Bras. Frutic.*, 33(3): 993-1003. <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v33n3/v33n3a36.pdf>
- Stone, E.L., Will, G.M. (1965) Boron deficiency in *Pinus radiata* and *P. pinaster*. *Forest Science* , 11(4): 425-433.
- Sujatha,. M.P. (2005) Significance of micronutrients on the growth of teak seedlings. In: Bath, K.M., Nair, K.K.N., Bath, K.V., Muralidharam, E.M., Sharma, J.K. (eds.) *The international conference on quality timber products of teak from sustainable forest management*. Peechi, Kerala Forest Research Institute. Kerala, India, p. 491-494.

- Sujatha, M P. (2008) Micronutrient deficiencies in teak (*Tectona grandis*) seedlings: Foliar symptoms, growth performance and remedial measures. *Journal of Tropical Forest Science*, p. 3226-3399.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2010) *Plant Physiology*. Fifth edition. Sinauer Associates. Sunderland, MA. 690p.
- Tanaka, M., Fujiwara, T. (2008) Physiological roles and transport mechanisms of boron: perspectives from plants. *Pflug. Archiv. Eur. J. Physiol.* 456: 671-677.
- Taylor, H.M., Willatt, S.T. (1983) Shrinkage of soybean roots. *Agron. J.*, 75: 818-820.
- Terry, N., Zayed, A.M. (1995) Physiology and biochemistry of leaves under iron deficiency. *In: Abadia, J. (Ed) Iron Nutrition in Soil and Plant*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. ISBN: 0-7923- 2900-7, p. 283-294.
- Tirloni, C., Daniel, O., Vitorino, A.C.T., Novelino, J.O., Carducci, C.E., Heid, D.M. (2011) Crescimento de *Corymbia citriodora* sob aplicação de Boro nas épocas secas e chuvosas no Mato Grosso do Sul, Brasil. *Silva Lusitana*, 19(2): 185 – 194.
- Vasquez, A.V. (2001) *Silvicultura de plantaciones forestales en Colômbia*. Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal, Ibagué – Tolima, Colombia. 287 p. Livro on line: http://desarrollo.ut.edu.co/tolima/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_7277.pdf
- Vásquez, W., Ugalde, L.A. (1994) *Rendimiento y calidad de sitio para Gmelina arborea, Tectona grandis, Bombacopsis quinata y Pinus caribaea, en Guanacaste, Costa Rica*. CATIE/ IDA/ FAO/ HOLLANDA. Proyecto Madelaña-3. Serie Técnica, Informe Técnico No 256. Turrialba, Costa Rica. 33 p.
- Zekri, M., Obreza, T.A. (2009) *Plant nutrients for Citrus trees*. Publication #SL 200. This document is SL 200, a fact sheet of the Soil and Water Science Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. First printed: January 2003. Reviewed February 2009. Please visit the EDIS Web site at <http://edis.ifas.ufl.edu>. <https://edis.ifas.ufl.edu/ss419>
- Zuluaga, P.J.J., Romero, F.J.L., Gutierrez, B., Baquero, C., Ramirez, M., Martínez, J., Solipá, F., Arguelles, J., Molina, J.P., Urueña, H., Pérez, D. (2010) *Informe técnico final. Proyecto “Desarrollo de herramientas tecnológicas para el manejo nutricional de dos especies arbórea (Gmelina arborea y Pachira quinata) en el*

Caribe Colombiano". Presentado al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). Documento de trabajo, p. 150. Centro de Investigación Turipana (Corpoica). Marzo de 2010.

Zuluaga, J.J., Osorio, V.E., Gutierrez, B.A., Romero, J.L., Rodriguez, M., Pérez, D., Solipa, F., Martínez, J., Baquero, C., Ramírez, M., Roveda, G. (2011) *Niveles nutricionales em establecimiento de plantaciones de dos especies forestales (Gmelina arborea y Pachira quinata) en el Caribe Colombiano*. Editorial: Produmedio. CORPOICA, 2011. 40p. ISBN: 978-958-740-047-2.

APÊNDICE

Tabela 1A: Análise de variância dos contrastes do diâmetro a altura do peito (DAP) ao segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	G.L	DAP QM
Bloco	5	6,101351*
Contrastes	9	1,2937700*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	0,334306 ^{ns}
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	1	3,284853 ^{ns}
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	1	0,927344 ^{ns}
C4= (T2) - (T4)	1	0,044722 ^{ns}
C5= (T5) - (T7)	1	0,787980 ^{ns}
C6= (T8) - (T10)	1	2,259900 ^{ns}
C7= (T3) - (T4)	1	1,775283 ^{ns}
C8= (T6) - (T7)	1	0,031983 ^{ns}
C9= ((T9) - (T10))	1	0,091496 ^{ns}
Resíduo	45	0,4871320

T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. ns= não significativo; *= significância a 5%.

Tabela 2A: Quadrado médio dos Contrastes das análises foliares de fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B) ao primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	P	K	Na	Cu ¹	Mn	Zn	B
		----- QM -----						
Bloco	5	1,713*	36,34*	0,7E-2*	0,2E-3*	1459,1*	39,31*	4954,2*
Tratamento	9	0,361*	37,98*	0,9E-2*	0,4E-3*	319,0*	19,45*	2549,2*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	0,208	23,87*	0,1E-2	0,5E-4	25,78	0,417	8676,1*
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	1	0,135	67,20*	0,4E-3	0,6E-3*	46,67	3,521	4196,4*
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	1	1,031*	46,91*	0,027*	0,3E-3	1332,3*	52,56*	805,38
C4= (T2) - (T4)	1	0,009	0,83	0,1E-2	0,4E-3	25,52	9,187	2093,41
C5= (T5) - (T7)	1	0,168	10,72	0,5E-3	0,2E-6	892,68*	0,000	631,38
C6= (T8) - (T10)	1	0,559*	3,31	0,011*	0,3E-4	310,08	2,083	1178,4
C7= (T3) - (T4)	1	0,037	0,6E-31	0,9E-2	0,6E-4	176,33	3,000	537,16
C8= (T6) - (T7)	1	0,453*	179,7*	0,028*	0,9E-3*	320,33	60,75*	2258,1*
C9= ((T9) - (T10)	1	0,044	0,669	0,1E-2	0,1E-3	261,33	14,08	1404,5
Resíduo	45	0,111	5,86	0,2E-2	0,1E-3	90,92	7,33	552,98

* Significativo a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 3A: Quadrado médio dos Contrastes das análises foliares de potássio (K), magnésio (Mg), manganês (Mn) e zinco (Zn) ao segundo ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	K	-----QM-----		
			Mg ¹	Mn ²	Zn ²
Bloco	5	30,47	0,273	0,24E-4	0,25E-3
Tratamento	9	53,03*	0,468*	0,13E-3*	0,39E-3*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	15,00	0,01	0,16E-3	0,94E-4
C2= (T8 T9 T10) (-T2-T3-T4-T5-T6-T7)	1	114,9*	0,92*	0,11E-3	0,64E-3
C3= (T5 T6 T7) (-T2-T3-T4)	1	20,92	0,13	0,67E-3*	0,17E-3
C4= (T2) (-T4)	1	78,33*	1,16*	0,40E-4	0,40E-4
C5= (T5) (-T7)	1	191,0*	0,26	0,14E-4	0,46E-3
C6= (T8) (-T10)	1	0,092	0,09	0,48E-4	0,14E-3
C7= (T3) (-T4)	1	27,82*	0,72	0,14E-4	0,92E-3*
C8= (T6) (-T7)	1	148,0*	1,70*	0,41E-4	0,13E-2*
C9= (T9) (-T10)	1	15,52	0,006	0,12E-4	0,12E-4
Resíduo	45	16,82	0,211	0,52E-4	0,16E-3

T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} ; ²análise realizada com dados transformados para $1/X$.

Tabela 4A: Quadrado médio dos contrastes da análise do solo do manganês (Mn) ao primeiro ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	Mn QM
Bloco	5	0,5163333*
Tratamento	9	0,3378148*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	0,424037
C2= (T8 T9 T10) (-T2-T3-T4-T5-T6-T7)	1	0,296296
C3= (T5 T6 T7) (-T2-T3-T4)	1	1,175556*
C4= (T2) (-T4)	1	0,6667E-2
C5= (T5) (-T7)	1	0,3750000
C6= (T8) (-T10)	1	0,3750000
C7= (T3) (-T4)	1	0,2016667
C8= (T6) (-T7)	1	0,1066667
C9= ((T9) (-T10)	1	0,2816667
Resíduo	45	0,1255926

T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%.

Tabela 5A: Quadrado médio dos contrastes da análise do solo do cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe) e zinco (Zn) ao segundo ano após plantio de *Pachira quinata*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Fonte de variação	GL	Ca	Mg	Na ¹	Fe ¹	Zn ²
		----- QM -----				
Bloco	5	8,64*	2,30*	48,3*	0,3E ⁻³	0,003
Tratamento	9	6,02*	1,21*	23,6*	0,0016*	0,252*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	2,35	0,28	2,90	4,2E ⁻⁷	0,032
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	1	0,36	0,06	22,9	0,0017*	0,04*
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	1	20,9	2,93*	33,5	0,003*	7,0E ⁻⁶
C4= (T2) - (T4)	1	0,003	1,09*	18,0	0,002*	6,0E ⁻⁴
C5= (T5) - (T7)	1	24,1*	5,51*	41,2	0,004	0,032
C6= (T8) - (T10)	1	5,37	0,43	40,1*	3,0E ⁻⁵	0,001
C7= (T3) - (T4)	1	0,38	0,52	0,04	6,8E ⁻⁵	5,0E ⁻⁴
C8= (T6) - (T7)	1	6,64*	1,08*	0,04	0,87*	0,14*
C9= (T9) - (T10)	1	2,92	0,94	66,1*	0,8E ⁻³	1,6E ⁻³
Resíduo	45	1,34	0,25	9,75	0,38E ⁻³	0,011

T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X; ²análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 6A: Quadrado médio dos Contrastes das análises foliares de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e boro (B) ao primeiro ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	P ¹	K	Ca	Mg ¹	Na	Fe ¹	Cu ¹	Mn ¹	Zn	B
		-----QM-----									
Bloco	5	0,4E-2*	15,9*	284,8*	0,006*	0,2E-3	0,1E-4*	0,3E-3*	0,8E-4*	465,2*	2979,5*
Tratamento	9	0,4E-2*	11,2*	51,31*	0,006*	0,4E-2*	0,7E-5*	0,5E-3*	0,8E-4*	611,2*	3508,4*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	0,5E-2*	1,805	175,3*	0,014*	0,14E-3	0,29E-4	0,4E-3*	0,1E-6*	1551,1*	354,07
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	1	0,8E-2*	27,3*	14,71	0,0003	0,21E-3	0,16E-5	0,4E-3*	0,2E-7	58,67	757,97
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	1	0,6E-3	14,5*	37,22	0,0014	0,2E-1*	0,2E-4*	0,3E-3*	0,8E-6*	104,01	6976,0*
C4= (T2) - (T4)	1	0,3E-2*	0,805	43,28	0,021*	0,4E-2*	0,57E-5	0,9E-3*	0,2E-5*	1786,1*	8465,7*
C5= (T5) - (T7)	1	0,8E-6	24,2*	56,54*	0,0021	0,8E-2*	0,67E-7	0,8E-3*	0,6E-7	87,48	252,21
C6= (T8) - (T10)	1	0,1E-2	10,25	69,00*	0,014*	0,8E-4	0,2E-4*	0,8E-3*	0,39E-7	358,6*	10337*
C7= (T3) - (T4)	1	0,5E-2*	4,553	47,22*	0,005	0,7E-2*	0,11E-4	0,1E-2*	0,3E-5*	565,8*	114,72
C8= (T6) - (T7)	1	0,1E-2	2,579	1,678	0,0003	0,3E-2*	0,64E-5	0,7E-3*	0,1E-5*	218,4*	2837,4*
C9= (T9) - (T10)	1	0,1E-1*	1,844	55,59*	0,0069	0,2E-33	0,95E-6	0,6E-3*	0,5E-6*	1399,7*	3109,7*
Resíduo	45	0,6E-3	3,522	10,70	0,0022	0,7E-3	0,17E-5	0,6E-4	0,4E-5	37,68	301,1

* Significativo a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para 1/X.

Tabela 7A: Quadrado médio dos Contrastes das análises foliares de magnésio (Mg) ao segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	Mg QM
Bloco	5	1,806
Tratamento	9	3,192*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	0,405
C2= (T8+T9+T10) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7)	1	0,521
C3= (T5+T6+T7) - (T2+T3+T4)	1	1,146
C4= (T2) - (T4)	1	1,502
C5= (T5) - (T7)	1	3,630
C6= (T8) - (T10)	1	0,288
C7= (T3) - (T4)	1	2,227
C8= (T6) - (T7)	1	7,632*
C9= ((T9) - (T10)	1	13,80*
Resíduo	45	1,32

* Significativo a 5%

Tabela 8A: Quadrado médio dos contrastes da análise no solo de Ca no primeiro ano após plantio de espécie *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	Ca QM
Bloco	2	1,303267*
Tratamento	9	0,2478252*
C1= (T1) (-T2-T3-T4-T5-T5-T6-T7-T8-T9-T10)	1	0,0180831
C2= (T8 T9 T10) (-T2-T3-T4-T5-T6-T7)	1	0,0867691
C3= (T5 T6 T7) (-T2-T3-T4)	1	0,685481*
C4= ((T2) (-T3)	1	0,771028*
C5= (T5) (-T7)	1	0,2225143
C6= (T8) (-T10)	1	0,2669159
C7= (T3) (T4)	1	0,519616*
C8= (T6) (-T7)	1	0,186973
C9= T9) (-T10)	1	0,016682
Resíduo	18	0,08058838

* Significativo a 5%.

Tabela 9A: Quadrado médio dos contrastes da análise do solo do potencial de hidrogênio (pH), matéria orgânica (M.O.), fósforo (P), magnésio (Mg), ferro (Fe) e enxofre (S) ao segundo ano após plantio de *Gmelina arborea*, cultivada em solo submetido a diferentes doses de B e Fe

Causas de variação	GL	pH	M.O.	QM			
				P ¹	Mg	Fe	S
Bloco	5	0,13	1,07*	1,2E ⁻³	5,9E ^{-2*}	165*	13,9*
Tratamento	9	0,33*	1,00*	8,9E ^{-3*}	3,2E ^{-2*}	59,6*	3,15*
C1= (T1) - (T2+T3+T4+T5+T6+T7+T8+T9+T10)	1	0,09	0,3E ⁻²	1,3E ⁻⁵	1,1E ⁻³	18,8	14,6*
C2= (T8 T9 T10) (-T2-T3-T4-T5-T6-T7)	1	0,03	0,80	7,4E ⁻³	1,3E ⁻²	2,59	0,02
C3= (T5 T6 T7) (-T2-T3-T4)	1	0,6E ⁻⁵	2,72*	4,3E ⁻⁴	2,8E ⁻²	180*	0,18
C4= (T2) (-T4)	1	1,92*	0,57	7,9E ⁻³	0,23*	69,1	2,25
C5= (T5) (-T7)	1	0,17	2,71*	1,1E ^{-2*}	1,2E ⁻²	5,97	0,01
C6= (T8) (-T10)	1	0,4E ⁻³	0,78	2,7E ^{-2*}	4,8E ⁻³	27,0	6,53
C7= (T3) (-T4)	1	1,54*	0,86	1,3E ⁻⁵	5,4E ^{-2*}	265*	0,53
C8= (T6) (-T7)	1	0,26	0,06	9,0E ⁻⁴	1,0E ⁻³	0,96	0,87
C9= (T9) (-T10)	1	0,10	0,05	2,0E ⁻³	2,4E ⁻³	61,6	0,47
Resíduo	45	0,12	3,9E ⁻³	3,9E ⁻³	1,2E ⁻²	24,06	1,39

T1= testemunha, T2= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T3= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T4= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B, T5= 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T6= 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T7= 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T8= 0,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 0,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe, T9= 1,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,0 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe e T10= 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de B + 1,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Fe. *= significância a 5%. ¹análise realizada com dados transformados para \sqrt{X} .