

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

DIEGO MATHIAS NATAL DA SILVA

**CULTIVO DE YACON EM DUAS CONDIÇÕES
EDAFOCLIMÁTICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO NO
SUL DO ESPÍRITO SANTO**

**ALEGRE - ES
2015**

DIEGO MATHIAS NATAL DA SILVA

**CULTIVO DE YACON EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS
E ÉPOCAS DE PLANTIO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal na área de concentração em Fitotecnia.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira.

ALEGRE - ES
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

S586c Silva, Diego Mathias Natal da, 1985-
Cultivo de yacon em duas condições edafoclimáticas e épocas de plantio no Sul do Espírito Santo. /Diego Mathias Natal da Silva. – 2015.

86 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz de Oliveira.

Coorientadores: Luciano José Quintão Teixeira

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Yacon. 2. Raízes tuberosas. 3. Crescimento. 4. Rendimento. 5. Qualidade. I. Oliveira, Fábio Luiz de. II. Teixeira, Luciano José Quintão. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

CDU: 63

DIEGO MATHIAS NATAL DA SILVA

**CULTIVO DE YACON EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS
E ÉPOCAS DE PLANTIO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal na área de concentração em Fitotecnia.

Aprovada em 15 de junho de 2015

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Luiz de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Dr. Luciano José Quintão Teixeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Coorientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Cavatte
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Wallace Luís de Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Campus Alegre

A Deus, que iluminou o meu caminho, e a todos os amigos e parentes que, por meio de palavras e atitudes, contribuíram para a realização desse sonho;

Ao amor, carinho, humildade e força da minha mãe;

A honestidade e seriedade do meu pai;

A amizade e cordialidade do meu irmão Bruno;

A alegria e entusiasmo das minhas irmãs Mirla e Jeanne;

A persistência e dedicação do meu irmão Ricardo;

A alegria e pureza das minhas sobrinhas Maria Flor e Clara;

A importância e trabalho dos agricultores familiares do Espírito Santo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, saúde, oportunidade de estudar e realizar este trabalho, pelo conhecimento adquirido, pelas pessoas e lugares incríveis que conheci;

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), pela oportunidade de realização do curso e pela contribuição à minha formação acadêmica;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo auxílio financeiro à pesquisa;

Ao amigo e professor Fábio Luiz de Oliveira que, durante a minha vida acadêmica e principalmente durante esta caminhada, foi conselheiro, amigo, companheiro e exemplo; que, acima de tudo, confiou no meu trabalho, dando-me liberdade para condução desta pesquisa, proporcionando a construção de um trabalho coletivo, contribuindo para o meu crescimento pessoal e profissional;

Ao professor Luciano José Quintão Teixeira; e aos amigos(as) e companheiros(as) de trabalho, Mateus, Wellington, Leonard, Bruno, Tiago e Raquel Lima, pelo apoio e todo aprendizado, pela confiança e dedicação para realização deste trabalho;

Aos amigos e companheiros de república: Antônio Henrique, Antônio da Mata, Daniel, Felipe e Lucas, pela ajuda no trabalho e pelos momentos compartilhados;

À Amanda Freitas, minha namorada, pelo carinho, pelo incentivo e pela compreensão diante dessa etapa importante em minha vida;

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), pela contribuição na minha vida acadêmica e pessoal;

A Célio Raposo e Flávia Dias que contribuíram para realização deste trabalho;

A todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram a conduzir com êxito este trabalho de tese.

RESUMO

SILVA, Diego Mathias Natal da. **Cultivo de yacon em duas condições edafoclimáticas e épocas de plantio no Sul do Espírito Santo**, 2015. 86f. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

O consumo do yacon tem apresentado inúmeros benefícios para a saúde, o que abre as expectativas sobre o seu cultivo como um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico. Apesar disso, no Brasil as áreas de cultivo geralmente se restringem a poucas localidades e as informações são ainda escassas e para as condições do Espírito Santo são praticamente inexistentes. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, o desenvolvimento, a produção e a qualidade do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas em diferentes épocas de plantio no Sul do Espírito Santo. O experimento foi conduzido em elevada (837 m) e baixa (113 m) altitude, sendo o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, e os tratamentos constituídos por quatro épocas de plantio: outono, inverno, primavera e verão. Ao longo do ciclo de cultivo do yacon e por ocasião da colheita das raízes tuberosas foram realizadas avaliações relacionadas ao crescimento, ao desenvolvimento e à produção da cultura, além de, qualidade das raízes tuberosas. De forma geral, o cultivo de yacon em elevada altitude, independente da época de plantio, promoveu maior crescimento das plantas, além de maior produtividade e qualidade de raízes tuberosas. O plantio de yacon realizado no outono promoveu maior crescimento das plantas e maiores produtividades de raízes tuberosas e rizóforos, em ambas as condições edafoclimáticas. Além disso, o plantio de primavera em elevada altitude apresentou as características físico-químicas mais desejáveis, e o contrário ocorreu no plantio de primavera em baixa altitude.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Raiz tuberosa. Crescimento. Rendimento. Qualidade de raízes.

ABSTRACT

SILVA, Diego Mathias Natal da. **Yacon cultivation in two soil and climate conditions and planting dates in Southern Espírito Santo, Brazil**, 2015. 86f. (Tese – Doutorado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2015.

Consumption of yacon has presented numerous health benefits, which opens the expectations of its cultivation as a new product to be explored and applied to social, agricultural, technological and scientific levels. Nevertheless, in Brazil the area under cultivation generally restricted to a few locations and information are still quite scarce and the conditions of the Espírito Santo are virtually nonexistent. Thus, the aim of this study was to evaluate the growth, yield and quality of cultivated yacon in two soil and climate conditions in different planting dates in Southern Espírito Santo, Brazil. The experiment was conducted on high (837 m) and low (113 m) altitude, and the experimental design of randomized blocks with four replications, and the treatments consisted of four planting dates: fall, winter, spring and summer. Throughout the yacon cultivation cycle and at harvest of tuberous roots were carried out evaluations related to the growth, development and production of culture, as well as, quality of tuberous roots. Overall, the yacon cultivation in high altitude, regardless of the planting dates, promoted greater plant growth as well as increased productivity and quality of roots. The planting yacon held in the fall promoted greater plant growth and higher yields of roots and rhizophores in both soil and climatic conditions. In addition, the spring planting at high altitude showed the physicochemical characteristics most desirable, and the opposite occurred in the spring planting in low altitude.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Tuberous root. Growth. Yield. Quality roots.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I

- 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo em elevada (Ibatiba/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014..... 30

ARTIGO CIENTÍFICO II

- 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo em elevada (Ibatiba/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014..... 52
- 2- Características foliares do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 55
- 3- Características do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 56
- 4- Massa seca dos órgãos e total do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 57
- 5- Produtividade de raízes tuberosas do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 58

ARTIGO CIENTÍFICO III

- 1- Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo em elevada (Ibatiba/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014..... 69
- 2- Características físico-químicas de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 73
- 3- Coordenadas L*, a* e h* da escala de cor avaliadas do suco extraído de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 74
- 4- Características químicas de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 76

- 5- Perfil de textura de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14..... 79

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO CIENTÍFICO I

- Figura 1- Médias mensais de temperatura, máxima e mínima, observadas no período de abril de 2013 a abril de 2014, em elevada (Iúna/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014..... 29
- Figura 2- Massa seca total, fração de massa foliar (FMF) e fração de massa caulinar (FMC) ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014..... 32
- Figura 3- Fração de massa de rizóforos (FMRi) e fração de massa de raízes tuberosas (FMRa) ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014..... 35
- Figura 4- Área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e taxa de assimilação líquida (TAL) ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014..... 37
- Figura 5- Índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento relativo (TCR), ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014..... 40

ARTIGO CIENTÍFICO II

- Figura 1- Médias mensais de temperatura, máxima e mínima, observadas no período de abril de 2013 a abril de 2014, em elevada (Iúna/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014..... 53

ARTIGO CIENTÍFICO III

- Figura 1- Médias mensais de temperatura, máxima e mínima, observadas no período de abril de 2013 a abril de 2014, em elevada (Iúna/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014..... 70

LISTA DE SIGLAS

AFE - Área Foliar Específica

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DAE - Dias após a emergência

DAP - Dias após o plantio

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FOS - Frutooligossacarídeos

FMC - Fração de Massa Caulinar

FMF - Fração de Massa Foliar

FMRa - Fração de Massa de Raízes Tuberosas

FM Ri - Fração de Massa de Rizóforos

IAF – Índice de área Foliar

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MST - Massa Seca Total

RAF - Razão de Área Foliar

TAL - Taxa de Assimilação Líquida

TCC - Taxa de Crescimento da Cultura

TCR - Taxa de Crescimento Relativo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Aspectos de cultivo do yacon	14
2.2. Composição físico-química e importância nutricional do yacon	18
REFERÊNCIAS	20
 ARTIGO CIENTÍFICO I - CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO YACON EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO	
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	26
INTRODUÇÃO.....	27
MATERIAL E MÉTODOS.....	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
CONCLUSÃO.....	43
AGRADECIMENTOS.....	44
REFERÊNCIAS	45
 ARTIGO CIENTÍFICO II - PRODUÇÃO DE YACON CULTIVADO EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO	
RESUMO.....	48
ABSTRACT.....	49
INTRODUÇÃO.....	50
MATERIAL E MÉTODOS.....	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
CONCLUSÃO.....	60
AGRADECIMENTOS.....	61
REFERÊNCIAS	61
 ARTIGO CIENTÍFICO III - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES TUBEROSAS DE YACON PRODUZIDAS NO SUL DO ESPÍRITO SANTO EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO	
RESUMO.....	65
ABSTRACT.....	66
INTRODUÇÃO.....	67

MATERIAL E MÉTODOS.....	68
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
CONCLUSÃO.....	80
AGRADECIMENTOS.....	81
REFERÊNCIAS	81
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86

1. INTRODUÇÃO

Os problemas inerentes à saúde humana têm sido alvo de discussão por muitos anos e, em conjunto a esses problemas, também se tem discutido o potencial de alimentos e nutrientes em promover benefícios à saúde (FREITAS e JACKIX, 2005). A Organização Mundial da Saúde (OMS) refere-se a uma gama de espécies vegetais a partir das quais produtos de interesse terapêutico podem ser obtidos e usados como medicamento na saúde humana (WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO-, 2004). O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma dessas plantas que vêm sendo estudadas para auxiliar no tratamento de algumas doenças, principalmente o diabetes mellitus.

O yacon, oriundo da região Andina e popularmente conhecido como llaqon, llacum, llacuma, yacumpi, aricama, chicama, jiquima e jiquimilla, possui raiz tuberosa considerada alimento nutracêutico em decorrência de seus componentes designados, como fibras alimentares solúveis e prebióticos, que devido à sua baixa digestibilidade pelas enzimas do trato gastrointestinal humano, estimula seletivamente o crescimento e a atividade de bactérias intestinais promotoras da saúde (GIBSON e ROBERFROID, 1995).

Diferente da maioria das plantas que armazenam em suas raízes tuberosas carboidratos na forma de amido, o yacon armazena boa parte dos carboidratos na forma de frutanos, sendo descrito como o alimento com maior conteúdo de frutooligosacarídeos (FOS) na natureza e seu consumo proporciona efeitos medicinais no controle de doenças crônicas envolvendo diabetes (AYBAR et al., 2001; VALENTOVÁ et al., 2004; 2005; TERADA et al., 2006; GENTA et al., 2010); arteriosclerose (VALENTOVÁ et al., 2003); câncer de cólon (MOURA et al., 2012); controle de pressão arterial e dos níveis de colesterol (VIGNALE e GURNI, 2005); alívio da constipação e fortalecimento do sistema imunológico (SANTANA e CARDOSO, 2008). Além desse fator, a raiz contribui com doses razoáveis de minerais, como o potássio, além de compostos fenólicos para a alimentação humana (DUARTE et al., 2008; OJANSIVU et al., 2011). Há evidências de que a utilização de FOS na alimentação animal também pode atuar no controle da disseminação de doenças através do aprimoramento do sistema imunológico, como, por exemplo, em frangos criados sem administração de antibióticos, área esta que requer mais estudos a fim de se comprovar a eficácia e a segurança desses compostos (SANTANA e CARDOSO, 2008).

O yacon tem apresentado inúmeros benefícios para a população em geral, o que abre as expectativas sobre o seu cultivo como um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico (SANTANA e CARDOSO, 2008). Deve-se

aliar a essas características, apontamentos de que a planta teria adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, o que representaria em vantagens para os agricultores.

Apesar dos notórios benefícios provenientes do uso de yacon, no Brasil as áreas de cultivo geralmente se restringem a poucas localidades e as informações são ainda escassas, e para as condições do Espírito Santo, em particular, são praticamente inexistentes. Logo, são requeridas mais pesquisas e divulgação das potencialidades do cultivo da espécie em diferentes condições edafoclimáticas (SANTANA e CARDOSO, 2008).

Diante do exposto, a geração de informações a respeito das potencialidades do cultivo de yacon na região Sul do Espírito Santo, possibilitará a divulgação e adoção dessa cultura promissora, principalmente, por agricultores familiares, tanto para subsistência quanto para comercialização. Dessa forma, o objetivo desta tese foi avaliar o crescimento, o desenvolvimento, a produção e a qualidade de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas em diferentes épocas de plantio no Sul do Espírito Santo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Aspectos de cultivo do yacon

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta, da família Asteraceae, de origem andina que demonstra possibilidades de adaptação quanto ao clima e solo, sendo que sua resistência ao frio e à seca está relacionada à grande quantidade de carboidratos de reserva nos órgãos subterrâneos (VILHENA et al., 2000; SANTANA e CARDOSO, 2008). Essa espécie é cultivada em muitas localidades espalhadas por toda a Cordilheira dos Andes, a partir do Equador até o Noroeste da Argentina. Na maioria das vezes, as plantas são cultivadas para consumo familiar, e há poucos cultivos com objetivos comerciais. Nessa região os agricultores raramente cultivam o yacon como cultura principal. É comum seu cultivo na borda de plantações de milho, batata-doce e hortaliças, ou então em pequenas parcelas em monocultivo, ou associado com milho, feijão, batata, repolho, batata-baroa, café e frutas (SEMINARIO et al., 2003; GRAU e REA, 1997).

De forma geral, na América do Sul o yacon tem sido plantado durante todo o ano, no entanto, com a sazonalidade de chuvas, o plantio tem sido feito durante a estação chuvosa, entre setembro a abril, com variações regionais. Em cultivos irrigados, o plantio ocorre entre maio e agosto (após a colheita), principalmente devido à disponibilidade de rizóforos, e em cultivos sequeiros, ocorre principalmente no início do período chuvoso, de setembro a novembro. O importante é que, dado o aumento da demanda de yacon, ambos os sistemas (em

sequeiro e irrigado) podem tirar proveito de um complemento para as plantações ao longo do ano (SEMINÁRIO et al., 2003).

No Brasil, na região de Capão Bonito-SP, o plantio do yacon é feito normalmente nos meses de agosto e setembro (KAKIHARA et al., 1996). Caso seja cultivado sem irrigação, se recomenda a realização do plantio no início do período chuvoso de cada região. Deve-se ter um cuidado especial com a irrigação, que pode ser feita por aspersão (VILHENA et al., 2000) ou via sulco (MALDONADO et al., 2008).

A espécie não se adapta a solos suscetíveis ao encharcamento ou argilosos, nem tolera elevada acidez do solo. Dessa forma, o plantio é feito preferencialmente em solos profundos e leves, com bom teor de matéria orgânica e boa drenagem. Estas condições facilitam o desenvolvimento das raízes, sem distorção e sem risco de deterioração, para a qual o yacon tem se mostrado susceptível (SEMINÁRIO et al., 2003; MANRIQUE et al., 2005).

Na região andina, recomenda-se a aplicação de formulações 140:120:100 kg ha⁻¹ de NPK, com o fracionamento da aplicação do N, sendo 50% no plantio e os outros 50% aos 40 dias após o plantio, junto com a prática da amontoa (MONTIEL, 1996). No Brasil, tem-se utilizado as recomendações do cultivo de batata, sendo pH do solo por volta de 6,0, com N, P, K e Zn no plantio e duas adubações nitrogenadas em cobertura (VILHENA et al., 2000). Em Botucatu-SP, a aproximadamente 800 m de altitude, Vilhena e Câmara (1996) observaram que baixas dosagens de N (20 Kg ha⁻¹) promoveram aumento no peso das raízes de yacon (32%), principalmente quando se parcelou a dosagem em três vezes. No entanto, nessa mesma região, Amaya e Câmara (2001) verificaram que 160 kg ha⁻¹ de N e 100 kg ha⁻¹ de K promoveram maior produção de raízes tuberosas. Além disso, o yacon apresenta resposta positiva ao fornecimento de matéria orgânica, sendo que a fonte orgânica geralmente usada é o esterco de animais (Seminario et al., 2003).

O espaçamento pode variar entre 0,50 a 0,70 m entre plantas e de 0,8 a 1,0 m entre linhas. Normalmente, o plantio é feito em linhas, colocando um propágulo por cova (SEMINÁRIO et al., 2003). Os rizóforos utilizados para o plantio possuem entre 60 e 80 g, e a profundidade de plantio é de aproximadamente 0,15 m. Antes do plantio, e qualquer que seja o tipo de propágulos, é recomendado a desinfecção em solução de hipoclorito de sódio comercial (125 ml em 25 litros de água) durante 3 minutos. Além disso, a aplicação de cinza no corte do propágulo também vem sendo utilizada como alternativa de desinfecção (SEMINÁRIO et al., 2003).

Deve-se atentar a eliminação das plantas espontâneas, realizando-se pelo menos três capinas manuais durante o ciclo do yacon (VILHENA et al., 2000). No entanto, Seminario et

al. (2003), afirmam que muitas vezes, são necessárias somente duas capinas ao longo do ciclo, sendo a primeira aos dois meses após o plantio, e a segunda, quando as plantas espontâneas reaparecerem. Uma vez que o yacon tenha entrado em crescimento acelerado ocorre o fechamento das entre linhas, ou seja, a folhagem restringe a entrada de luz para os estratos inferiores. Isso impede o desenvolvimento de plantas espontâneas, de modo que não seja necessário fazer mais capina. Recomenda-se realizar amontoa na primeira e segunda capina, para conferir maior sustentação às hastes e estimular o seu desenvolvimento. Não há dados experimentais sobre o efeito da amontoa sobre o rendimento e os custos de produção (SEMINARIO et al., 2003).

Na região Andina, o desenvolvimento ótimo do yacon ocorre entre 18 e 25 °C de temperatura e suas folhas são capazes de tolerar temperaturas mais elevadas sem sintomas de danos, desde que a umidade do solo seja adequada. Entretanto, baixa temperatura noturna parece ser necessária para a formação adequada de raízes. Já a parte aérea é sensível a geadas, porém, caso ocorra danos, estes são compensados com uma excelente capacidade de rebrota (SEMINARIO et al., 2003).

Nos Andes, o yacon se desenvolve desde o nível do mar até 3600 m. Porém, as médias entre 1500-2000 m de altitudes são melhores para a produção de raízes tuberosas, e as planícies costeiras são melhores para a produção de rizóforos (propágulos), enquanto o rendimento de raízes tuberosas é baixo (PIPSR, 2013). A cultura tem uma boa demanda por água, entre 650 e 1000 mm de chuvas anuais, com 800 mm sendo considerados ideais para o cultivo (SEMINARIO et al., 2003). Todavia, esta planta pode sobreviver a longos períodos de seca, mas a produtividade é significativamente afetada nestas condições. Além disso, umidade excessiva no solo também pode afetar as raízes, provocando fissuras, o que influencia na qualidade externa do produto e no valor de mercado, além de torná-las mais suscetíveis à ocorrência de podridão ainda no campo ou pós-colheita, durante o armazenamento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989).

Nessa região, a emergência de brotos tem ocorrido entre 30 a 50 dias após o plantio quando utilizado rizóforos como material propagativo. O crescimento dos brotos é lento durante os primeiros quatro meses, logo o diâmetro do caule e a produção de folhas aumentam, alcançando seu máximo aos 170 dias. Nesta idade se acelera também a formação e o engrossamento de raízes tuberosas (SEMINARIO et al., 2003).

O yacon tem sido descrito como planta de dias neutros para formar caules e raízes, portanto, neutro ao fotoperíodo (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989; VILHENA et al., 2000; SANTANA e CARDOSO, 2008). No entanto, em altas latitudes, foi verificado que

seu ciclo vegetativo foi estendido como em Jujuy (23 ° S), na Argentina, e em Otago (46 ° S), na Nova Zelândia (PIPSR, 2013). Este comportamento indica que esta planta tem uma ligeira resposta aos dias curtos.

De forma geral, a maturidade fisiológica da planta tem sido alcançada entre seis e dez meses após o plantio, quando as flores começam a desabrochar, sendo que este fator depende da zona onde a planta é cultivada. Normalmente, em altitudes mais baixas, a maturidade é adiantada. Este estágio será, então, seguido por um período de incremento do conteúdo dos oligofrutos nos rizóforos e nas raízes tuberosas, passando para uma fase de senescência da parte aérea e dormência das partes subterrâneas (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989).

A colheita das raízes tuberosas para consumo tem sido realizada por volta de oito e doze meses após o plantio, quando a parte aérea começa a secar, e também nesse período é realizada a colheita dos rizóforos, utilizados como material de propagação para o próximo plantio (VILHENA et al., 2000; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004). É também nesta fase em que se observam as maiores quantidades de frutooligossacarídeos nesses órgãos, sendo que a partir dos dez meses inicia-se o processo de despolimerização das cadeias, com a liberação de frutose e glicose, que serão utilizadas na forma de energia, para a brotação das gemas e consequente regeneração da planta (VILHENA et al., 2000). Porém, agricultores de Santa Maria do Jetibá-ES, vêm realizando a colheita no momento em que o pendão floral é emitido, visto que as raízes tuberosas atingem o padrão comercial mais aceito na Ceasa-ES.

Na medicina popular as folhas do yacon são utilizadas *in natura* ou desidratadas, na forma de chá, contra diabetes e altas taxas de colesterol (VILHENA et al., 2000). A colheita das folhas tem sido realizada manualmente, três vezes durante o ciclo, sendo retiradas somente as folhas da parte mediana do caule (VILHENA et al., 2000). A colheita das raízes e rizóforos também é feita manualmente, porém vêm sendo testados equipamentos utilizados na colheita da mandioca. Há relato de rendimento de até 119 t ha⁻¹ de raízes tuberosas (SEMINARIO et al., 2003) e 1 t ha⁻¹ de folhas frescas (KAKIHARA et al., 1996).

As raízes tuberosas depois de colhidas podem ser expostas ao sol durante alguns dias (3-8 dias) para aumentar a sua doçura, pois ocorre uma reação de hidrólise dos frutanos, o que provoca o aumento do teor de frutose e sacarose livre, e as raízes tornam-se, então, suculentas e doces (ZARDINI, 1991). Logo, se a raiz é destinada ao consumo *in natura*, deve ficar ao sol para que ocorra o incremento no sabor doce; entretanto, se destinada ao consumo por diabéticos ou para obtenção de inulina e frutooligossacarídeos, deve ser processada ou consumida rapidamente (QUINTEROS, 2000). Para armazenamento em longo prazo, as

raízes são colocadas em ambiente frio (4 °C), seco e escuro. Sob estas condições, as raízes de yacon podem ser armazenadas durante vários meses.

Além dos benefícios à saúde proporcionados pelo consumo do yacon, outras vantagens do cultivo dessa planta para os produtores e o meio ambiente foram apontadas por Grau e Rea (2002). Segundo os autores, o yacon apresenta alta produtividade, é adaptável a uma extensa gama de climas e solos, permite controle da erosão, apresenta potencial uso como forrageira (tanto as partes subterrâneas quanto as aéreas), é passível de extensa variedade de processamentos alternativos e apresenta boa durabilidade pós-colheita se armazenado adequadamente.

2.2. Composição físico-química e importância nutricional do yacon

O teor de umidade das raízes tuberosas de yacon pode variar de 80 a 90% e esse valor elevado faz com que seja considerado um alimento de baixo valor calórico (34,74 kcal/100 g) e altamente perecível com atividade de água de 0,991 no produto *in natura* (MICHELS, 2005). O conteúdo de proteínas, lipídios, vitaminas e minerais das raízes é bastante baixo (SANTANA e CARDOSO, 2008; RODRIGUES et al., 2011). O mineral mais abundante é o potássio, que existe em quantidades significativas e representa, em média, 230mg 100g⁻¹ de massa fresca comestível ou de 1 a 2% do peso seco. Em menores quantidades são encontrados o cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro, zinco, manganês e cobre (MANRIQUE et al., 2005). Também contém compostos fenólicos, flavonoides e substâncias antioxidantes (VALENTOVÁ e ULRICHOVÁ, 2003; ARNAO et al., 2011) e algumas vitaminas (retinol, caroteno, tiamina, riboflavina, niacina) como elementos traço (TAKENAKA et al., 2003) e triptofano (TAKENAKA et al., 2003; VALENTOVÁ e ULRICHOVÁ, 2003).

As raízes tuberosas de yacon contêm entre 10% e 20% de massa seca, fração composta por aproximadamente 90% de carboidratos (digeríveis e não digeríveis), variando de 40 a 70% de frutooligosacarídeos (FOS), 5 a 15% de sacarose, 5 a 15% de frutose e menos de 5% de glicose (MANRIQUE et al., 2005; MADRIGAL e SANGRONIS, 2007). Entretanto, a concentração destes açúcares pode variar conforme cultivar, época de cultivo e colheita, estágio de maturação, tempo e temperatura pós-colheita e condições de processamento (KANASHIRO et al., 2008; VASCONCELOS et al., 2010; RODRIGUES et al., 2011).

Em oposição à maioria dos tubérculos e raízes que armazenam carboidratos na forma de amido, o yacon armazena essencialmente FOS, que são oligossacarídeos com baixo grau de polimerização compostos por uma molécula de glicose unida a polímeros de frutose, com duas a 10 moléculas, por meio de ligações β (2→1) (PEREIRA, 2009; MANRIQUE et al.,

2005). Essa estrutura química suporta temperaturas de até 140 °C e valores de pH até 3,0, o que a torna resistente à maioria dos processos térmicos empregados na indústria de alimentos (MOURA, 2004).

Os FOS são resistentes ao processo digestivo, por isso a produção de energia resultante do seu consumo é reduzida e não eleva o nível de glicose no sangue (MANRIQUE et al., 2005), chegando intactos ao intestino grosso, onde são fermentados, produzindo ácidos graxos de cadeia curta atuando como prebióticos, estimulando de forma seletiva o crescimento de bactérias no cólon (OLIVEIRA; NISHIMOTO, 2004; ROLIM et al., 2011, DUPONT e DUPONT, 2011).

Vários benefícios do consumo de yacon têm sido atribuídos ao seu conteúdo de FOS como efeito imunoestimulatório (BONET et al., 2010; YASUDA et al., 2012), prebiótico (KEENAN et al., 2011; SOLEIMANI et al., 2012; CAMPOS et al., 2012) e protetor contra câncer de cólon (MOURA et al., 2012), além de ter papel na redução de lipídios séricos (HABIB et al., 2011), no balanço e na absorção do cálcio (LOBO et al., 2007), no alívio da constipação intestinal (GEYER et al., 2008; GENTA et al., 2009) e na modulação da insulinemia de jejum (GENTA et al., 2009). Seu consumo também tem proporcionado efeitos medicinais no controle de doenças crônicas envolvendo estresse oxidativo, diabetes (AYBAR et al., 2001; VALENTOVÁ et al., 2004; 2005; TERADA et al., 2006; GENTA et al., 2010); arteriosclerose (VALENTOVÁ et al., 2003); controle de pressão arterial e dos níveis de colesterol (VIGNALE e GURNI, 2005). Além disso, Oliveira e Nishimoto (2004) relataram que ao comparar o yacon com outras plantas frequentemente utilizadas no processo de extração de frutanos, como *Helianthus tuberosus*, *Chichorium inthybus*, *Dália* sp.; o yacon possui a vantagem de fornecer maior produtividade desses carboidratos (5,7 t ha⁻¹ contra 4,5, 0,9 e 2,5 t ha⁻¹ das espécies citadas, respectivamente).

REFERÊNCIAS

AMAYA, J.E.; CÂMARA, F.L.A. Efectos de dosis crescientes de nitrógeno y potasio en la calidad y productividad de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl) In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE RAICES Y TUBERCULOS, 2, 2001, Universidad Nacional Agraria La Molina. **Anais...** Lima/Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), 2001.

ARNAO, I.; SEMINÁRIO, J.; CISNEROS, R.; TRABUCCO, J. Potencial antioxidante de 10 accesiones de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, procedentes de Cajamarca – Perú. **An Fac Med**, v. 72, n. 4, p. 239-243, 2011.

AYBAR, M.J.; RIERA, A.N.S.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S. S. Hypoglycemic effect of the water extract of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) leaves in normal and diabetic rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 74, n. 2, p. 125-132, 2001.

BONET, M. E. B.; MESON, O.; LEBLANK, A. M.; DOGI, C. A.; CHAVES, S.; KORTSARZ, A.; GRAU, A.; PERDIGÓN, G. Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model. **Food and Agricultural Immunology**, v.21, n. 2, p. 175-189, jun. 2010.

CAMPOS, D; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, p. 1592–1599, 2012.

DUARTE, M. R.; WOLF, R.; PAULA, B. G. *Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Rob. (yacón): **identificação microscópica de folha e caule para o controle de qualidade farmacognóstico**. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas, v. 44, n. 1, p. 157-164, 2008.

DUPONT, A.W.; DUPONT, H.L. The intestinal microbiota and chronic disorders of the gut. **Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology**, v. 8, n.9, p. 523–531, 2011.

FREITAS, D.G.C.; JACKIX, M.N.H. Efeito de bebida adicionada de frutoligosacarídeo e pectina no nível de colesterol e estimulação de bifidobactérias em hamsters hipercolesterolêmicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.1, p.81-86, 2005.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S.S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, n. 2, p. 182–187, 2009.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M.; MERCADO, M.I.; GRAU, A.; CATALÁN, C.A.; SÁNCHEZ, S.S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: constituents of the most active fractions. **Chemico-Biological Interactions**, 185: 143–152, 2010.

GEYER, M.; MANRIQUE, I.; DEGEN, L.; BEGLINGER, C. Effect of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on Colonic Transit Time in Healthy Volunteers. **Digestion**, v. 78, p.30-33, 2008.

GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, Madison, v.125, n.6, p.1401-1412, 1995.

GRAU, A.; REA, J. Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. In: HERMANN, M.; HELLER, J. (Eds.). **Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops.** Rome: IPK, Gatersleben / IPGRI, 1997. p. 199- 256.

GRAU, A.; REA, J. **Yacón: *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson.** Tucuman (Argentina): Universidad Nacional de Tucumán, Laboratorio de Investigaciones Ecológicas de los Yungas. 2002.

HABIB, N. C.; HONORÉ, S. M.; GENTA, S. B.; SÁNCHEZ, S. S. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, p. 31-39, 2011.

KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS 1 e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA 9, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. s.p.(resumo 148).

KANASHIRO, R.S.; FERRARO, R.G.; POLTRONIERI, F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): importância funcional. **Nutrição em Pauta**, São Paulo: Núcleo Consultoria Com. e Rep, v. 16, n. 92, p. 9-12, 2008.

KEENAN, D.F.; BRUNTON, N.; BUTLER, F.; WOUTERS, R.; GORMLEY, R. Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purees enriched with prebiotic inclusions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2011.

LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETTI, T. M. C. C. Effects of fructans containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, n. 4, p. 776-785, 2007.

MADRIGAL, L.; SANGRONIS, E. La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 57, n. 4, p. 387-396, 2007.

MALDONADO, S.; PIZARRO, P.L.; MARTÍNEZ, V.; VILLATARCO, M.; SINGH, J. Producción y comercialización de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) em comunidades rurales del Noroeste Argentino. **Agroalimentaria**, n.26, Enero-Junio, p.119-125, 2008.

MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A.; HERMANN, M. **Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003).** Lima: International Potato Center, 2005. 40p.

MICHELS, I. **Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 107 p., 2005.

MONTIEL, V.N. **El cultivo de yacon.** Lima, Perú: Instituto Nacional de Investigación Agraria – Boletín Técnico, n.35, p.19-20, 1996.

MOURA, C.P. **Aplicação de redes neuronais para a predição e otimização do processo de secagem de yacon (*Polymnia sonchifolia*) com pré-tratamento osmótico.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 107 p., 2004.

MOURA, N. A.; CAETANO, B. F. R.; SIVIERI, K.; URBANO, L. H.; CABELLO, C.; RODRIGUES, M. A. M.; BARBISAN, L. F. Protective effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, v. 50, p. 2902–2910, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Lost crops of the incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation.** Washington: Academy Press, 1989. 415 p.

OJANSIVU, I.; FERREIRA, C. L.; SALMINEN, S. **Yacon, a new source of prebiotic oligosaccharides with a history of safe use.** Trends in Food Science & Technology, v. 22, n. 1, p. 40-46, 2011.

OLIVEIRA, M.A.; NISHIMOTO, E.K. Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.7, n. 2, p. 215-220, 2004.

PEREIRA, R. A. C. B. **Extração e utilização de frutanos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) na funcionalização de alimentos.** Tese de Doutorado em Agronomia (Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 154 p., 2009.

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL EN RAÍZES Y TUBEROSAS - PIPSR. **Yacón (*Smallanthus sonchifolius*).** Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponível em: <<http://www.lamolina.edu.pe/Investigacion/programa/yacon/Yacon.htm>> Acesso em: 05 mai. 2013.

QUINTEROS, E.T.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon.** Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 163 p., 2000.

RODRIGUES, F.C.; CASTRO, A.S.B.; MARTINO, H.S.D.; FERREIRA, C.L.L.F. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 290-295, 2011.

ROLIM, P. M.; SALGADO, S. M.; PADILHA, V. M.; LIVERA, A. V. S.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Glycemic profile and prebiotic potential “in vitro” of bread with Yacon

(*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 467-474, abr./jun., 2011.

SANTANA, I.; CARDOSO, M.H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 898-905, 2008.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003. 60p.

SOLEIMANI, N.; HOSEINIFAR, S.H.; MERRIFIELD, D.L.; BARATI, M.; ABADI, Z.H. Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, n. 2, p. 316-321, 2012.

TERADA, S.; YOSHIMURA, A.; NOGUCHI, N.; ISHIDA, T. Constituents relating to anti-oxidative and alpha-glucosidase inhibitory activities in yacon aerial part extract. **Yakugaku Zasshi**, v. 126, p. 665-669, 2006.

TAKENAKA, M.; YAN, X.; ONO, H.; YOSHIDA, M.; NAGATA, T.; NAKANISHI, T. Caffeic acid derivatives in roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 3, p. 793-796, 2003.

VALENTOVÁ, K.; CVAK, L.; MUCK, A.; ULRICHOVÁ, J.; SIMANCIJ, V. Antioxidant effect of extracts from the leaves of *Smallanthus sonchifolius*. **European Nutrition of Journal**, v. 47, p. 61-65, 2003.

VALENTOVÁ, K.; ULRICHOVÁ, J. *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii* – prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. **Biomedical Papers**, Czech Republic, v.147, n.2, p.119-130, 2003.

VALENTOVÁ, K.; MONCION, A.; WAZIER, I.; ULRICHOVÁ, J. The effect of *Smallanthus sonchifolius* leaf extract on rat hepatic metabolism. **Cell Biology and Toxicology**, v. 20, p. 109-120, 2004.

VALENTOVÁ, K.; SERSEN, I.; ULRICHOVÁ, J. Radical scavenging and anti lipoperoxidative activities of *Smallanthus sonchifolius* leaf extracts. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, S3, p. 5571-5582, 2005.

VASCONCELOS, C.M.; SILVA, C.O.; TEIXEIRA, L.J.Q.; CHAVES, J.B.P.; MARTINO, H.S.D. Determination of the soluble dietary fiber fraction in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) root and flour by enzymatic-gravimetric method and high pressure liquid chromatography. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.

VILHENA S.M.C.; CÂMARA, F.L.A. Produção de raízes e tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) em função da adubação nitrogenada em cobertura. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS, 1, CONGRESSO BRASILEIRO DE

MANDIOCA, 9, 1996, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca, 1996.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KADIHARA, S.T. O cultivo do yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 1, p .5-8, 2000.

VIGNALE, N. D.; GURNI, A.A. Identificación micrográfica de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Acta Farmaceutica Bonaerense**, v. 24, p. 96-98, 2005.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines on safety monitoring of herbal medicines in pharmacovigilance systems**. Geneva: WHO; 2004.

YASUDA, A.; INOUE, K.; SANBONGI, C.; YANAGISAWA, R.; ICHINOSE, T.; TANAKA, M.; YOSHIKAWA, T.; TAKANO, H. Dietary supplementation with fructooligosaccharides attenuates allergic peritonitis in mice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 422, p. 546–550, 2012.

ZARDINI, E. Ethnobotanical notes on “yacon”, *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economic Botany**, v. 45, n. 1, p. 72-85, 1991.

ARTIGO CIENTÍFICO I

CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DO YACON EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOTERMICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

RESUMO

O consumo do yacon tem apresentado inúmeros benefícios para a saúde, o que abre as expectativas sobre o seu cultivo como um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico. Objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento e o desenvolvimento do yacon em duas condições edafotermicas em diferentes épocas de plantio na região Sul do Espírito Santo. O experimento foi conduzido em elevada (837 m) e baixa (113 m) altitude, sendo o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, e os tratamentos foram constituídos por quatro épocas de plantio: outono, inverno, primavera e verão. Ao longo do ciclo de cultivo do yacon foram avaliados acúmulo de massa seca e frações de massa foliar, caulinar, de rizóforos e de raízes tuberosas, área foliar específica, razão de área foliar, taxa de assimilação líquida, índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura e taxa de crescimento relativo. Os resultados indicaram que o plantio de yacon realizado no outono, em ambas as altitudes, promoveu taxas de crescimento maiores ou mais longas, o que contribuiu para um maior acúmulo de massa seca. No entanto, independente da época de plantio, o cultivo em elevada altitude promoveu maior índice de colheita de raízes tuberosas, enquanto em baixa altitude promoveu maior índice de colheita de rizóforos e maior fração de massa de caules.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Batata diet. Biomassa. Taxas de crescimento.

ABSTRACT

GROWTH AND DEVELOPMENT OF YACON IN TWO CLIMATE AND SOIL CONDITIONS AND PLANTING DATES IN SOUTHERN ESPIRITO SANTO, BRAZIL

Consumption of yacon has presented numerous health benefits, which opens the expectations of its cultivation as a new product to be explored and applied to social, agricultural, technological and scientific levels. The objective of this study was to evaluate the growth and development of yacon in two climate and soil conditions in different planting dates in the Southern region of the Espírito Santo, Brazil. The experiment was conducted on high (837 m) and low (113 m) altitude, and the experimental design of randomized blocks with four replications, and the treatments consisted of four planting dates: fall, winter, spring and summer. Over yacon cultivation cycle were evaluated dry matter accumulation and leaf mass fractions, stem, rhizophores and tuberous roots, specific leaf area, leaf area ratio, net assimilation rate, leaf area index, culture growth rate and relative growth rate. The results indicated that planting yacon held in the fall in both altitudes, promoted higher growth rates or longer contributing to a higher dry matter accumulation. However, regardless of the planting date, cultivation in high altitude promoted greater harvest index of tuberous roots, while at low altitude promoted greater rhizophores harvest index and increased mass fraction of stems.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Potato diet. Biomass. Growth rates.

INTRODUÇÃO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta, da família Asteraceae, de origem andina que reserva grandes quantidades de carboidratos em suas raízes (VILHENA et al., 2000).

Diferente da maioria das raízes tuberosas que armazenam carboidratos na forma de amido, o yacon, assim como várias plantas da família Asteraceae, armazena boa parte dos carboidratos na forma de frutanos. Dentre esses, grandes quantidades de frutooligossacarídeos (FOS), carboidratos não metabolizáveis pelo trato digestivo humano, são armazenados nas raízes. Vários benefícios do consumo de yacon têm sido atribuídos ao seu conteúdo de FOS como efeito imunoestimulatório (BONET et al., 2010; DELGADO et al., 2012; YASUDA et al., 2012; TOSTES et al., 2014), prebiótico (KEENAN et al., 2011; SOLEIMANI et al., 2012; CAMPOS et al., 2012) e protetor contra câncer de cólon (MOURA et al., 2012), além de ter papel na redução de lipídios séricos (HABIB et al., 2011), no balanço e na absorção do cálcio (LOBO et al., 2007), na regularização intestinal (GEYER et al., 2008; GENTA et al., 2009; ALBUQUERQUE & ROLIM, 2011; LOBO et al., 2011) e na modulação da insulinemia de jejum (GENTA et al., 2009). Seu consumo também tem proporcionado efeitos medicinais no controle de doenças crônicas envolvendo diabetes (GENTA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013); controle de pressão arterial e dos níveis de colesterol (VIGNALE e GURNI, 2005; OLIVEIRA et al., 2013).

Nas condições dos Andes, o plantio do yacon tem sido feito predominantemente durante a estação das chuvas, no entanto, fora dessa época também têm ocorrido plantios quando utilizada irrigação. Nessa região, a planta se desenvolve desde o nível do mar até 3600 m de altitude, no entanto, as médias altitudes, entre 1500-2000 m, são melhores para a produção de raízes tuberosas, enquanto as planícies costeiras para a produção de rizóforos, que são utilizados como material de propagação para o próximo plantio (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989). Nessa região, a emergência de brotos do yacon tem ocorrido entre 30 a 50 dias após o plantio, com o crescimento lento durante os primeiros quatro meses, logo o diâmetro do caule e a produção de folhas aumentam, alcançando seu máximo aos 170 dias. Nesta idade se acelera também a formação e o engrossamento de raízes tuberosas (SEMINARIO et al., 2003).

Descrita como neutra ao fotoperíodo para a formação de raízes tuberosas, a planta alcança a maturidade fisiológica entre seis e dez meses após o plantio, quando floresce, sendo que o início da floração depende da região onde a planta é cultivada, além do que, em altitudes mais baixas, a maturidade é adiantada (SANTANA e CARDOSO, 2008). Este

estágio será então seguido por um período de incremento do conteúdo de carboidratos nos rizóforos e nas raízes tuberosas, passando para uma fase de senescência da parte aérea e dormência das partes subterrâneas. Entre o início da floração e a senescência da parte aérea tem sido realizada a colheita das raízes tuberosas e dos rizóforos (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989; VILHENA et al., 2000; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004).

O consumo do yacon tem apresentado inúmeros benefícios para a saúde, o que abre as expectativas sobre o seu cultivo como um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico (SANTANA e CARDOSO, 2008). No entanto, no Brasil as áreas de cultivo se restringem a poucas localidades e as informações sobre seu manejo ainda são escassas, em particular para as condições edafoclimáticas do Espírito Santo são praticamente inexistentes.

Face ao exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o crescimento e o desenvolvimento do yacon em duas condições edafoclimáticas em diferentes épocas de plantio na região Sul do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas condições edafoclimáticas na região Sul do Espírito Santo, no período de abril de 2013 a abril de 2014: em Ibatiba/ES, a 20° 17' de latitude Sul e 41° 37' de longitude Oeste e altitude de 837 m (elevada altitude), e em Alegre/ES, a 20° 45' de latitude Sul e 41° 29' de longitude Oeste e altitude de 113 m (baixa altitude).

Em cada condição edafoclimática, o experimento foi montado obedecendo ao delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro épocas de plantio realizadas em 2013: outono (abril), inverno (julho), primavera (setembro) e verão (dezembro).

O solo foi preparado por meio de aração a 30 cm seguido de gradagem. O plantio foi realizado em sulcos utilizando-se rizóforos de aproximadamente 35 g a uma profundidade de 10 cm, obedecendo o espaçamento desejado. Foram colocados 180 g de esterco bovino curtido por planta. O esterco bovino continha os seguintes nutrientes: 14,21 g kg⁻¹ de N; 4,75 g kg⁻¹ de P; 5,28 g kg⁻¹ de K; 4,29 g kg⁻¹ de Ca e 1,92 g kg⁻¹ de Mg. Ao longo do ciclo de cultivo foi realizado controle de plantas espontâneas e irrigação por aspersão convencional aplicando-se 30 mm de lâmina d'água semanais.

As médias mensais de temperatura máxima e mínima estão representadas na Figura 1 e foram obtidas através das estações meteorológicas automáticas mais próximas do

experimento, sendo do INMET em Alegre/ES (20,751° de latitude Sul, 41,489° de longitude Oeste e 138 m de altitude) e do INCAPER em Iúna/ES (20,357° de latitude Sul, 41,557° de longitude Oeste e 758 m de altitude).

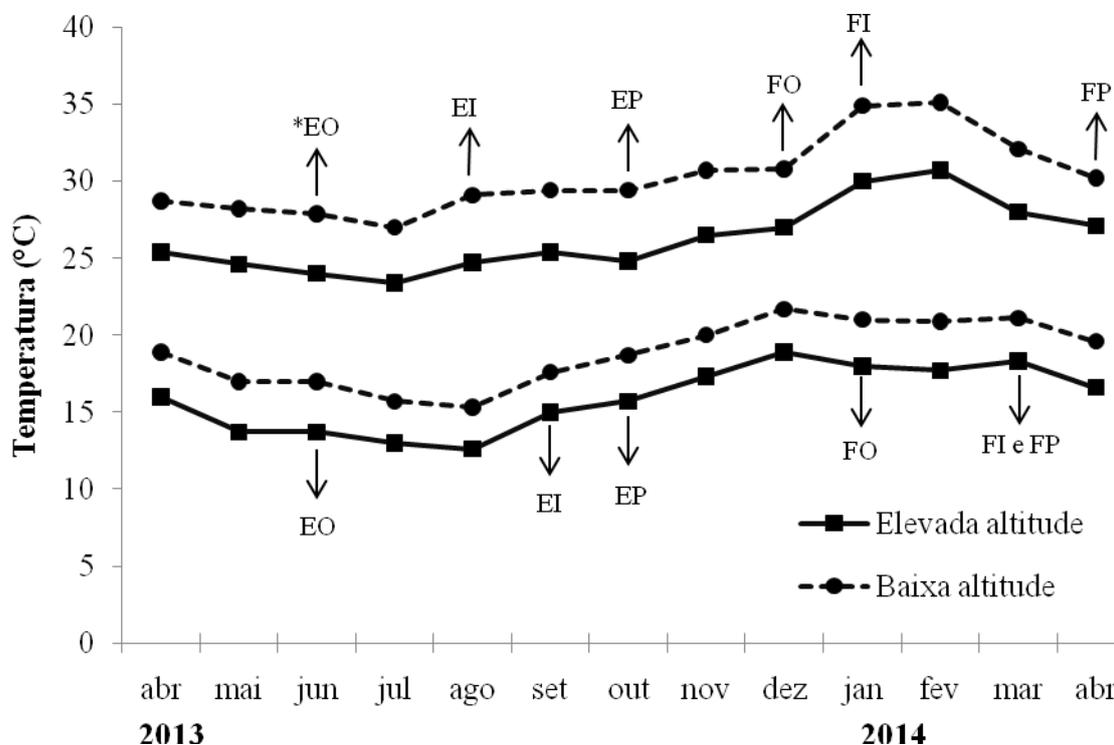


Figura 1. Médias mensais de temperatura, máxima e mínima, observadas no período de abril de 2013 a abril de 2014, em elevada (Iúna/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014. Fonte: Incaper (2014).

*EO (emergência do plantio de outono); EI (emergência do plantio de inverno); EP (emergência do plantio de primavera); FO (florescimento do plantio de outono); FI (florescimento do plantio de inverno); e FP (florescimento do plantio de primavera).

O solo, de ambos os locais, foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (EMBRAPA, 2006), cuja amostra foi submetida ao laboratório de solos do CCA/UFES para análises química e física (Tabela 1).

A unidade experimental foi constituída de cinco linhas de plantio de 8 m, espaçadas de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 16 plantas de yacon por linha de plantio. A cada 30 dias, duas plantas por unidade experimental, com exceção das bordaduras, foram avaliadas, colhidas e separadas em folhas, caules, rizóforos e raízes tuberosas. As coletas iniciaram 30 dias após a emergência dos brotos e foram interrompidas em momento de pleno florescimento das plantas, acima de 80% do estande.

A área foliar foi obtida por medidor fotoelétrico (Licor Area Meter 3100), e cada parte da planta foi seca em estufa com circulação forçada de ar a $70 \pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante, e

posteriormente obtida a massa seca. Os dados de massa seca total e área foliar foram convertidos para biomassa por área de terreno e índice de área foliar, considerando a densidade de plantas de cada parcela (2 plantas m⁻²).

Tabela 1. Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo em elevada (Ibatiba/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014.

Atributos do solo	Altitude	
	Elevada	Baixa
pH (água)	6,20	6,37
Fósforo Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	53,99	36,99
Potássio (mg dm ⁻³)	80,00	57,00
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,12	1,50
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,87	0,71
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	3,24	2,36
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,24	2,36
Saturação por bases (%)	64,10	64,09
Carbono orgânico total (%)	1,83	1,08
Nitrogênio total (%)	0,15	0,10
Areia (%)	68	60
Silte (%)	4	5
Argila (%)	28	35

A área foliar específica foi obtida pela razão entre a área foliar e a massa seca de folhas. A razão de área foliar foi obtida pela razão entre a área foliar e a massa seca total. A fração de massa foliar foi obtida pela razão entre a massa seca foliar e massa seca total, a fração de massa caulinar foi obtida pela razão entre a massa seca caulinar e massa seca total, a fração de massa de rizóforos foi obtida pela razão entre a massa seca de rizóforos e massa seca total, e a fração de massa de raízes tuberosas foi obtida pela razão entre a massa seca de raízes tuberosas e massa seca total.

Os logaritmos naturais das médias dos dados originais obtidos foram ajustados por regressão linear múltipla a diferentes modelos de crescimento, considerando o tempo como variável independente. O modelo exponencial polinomial de 3º grau foi escolhido por apresentar maior coeficiente de determinação (R²) e significância de todos os coeficientes da regressão. As taxas de crescimento foram estimadas pelo método funcional de análise de crescimento (HUNT, 1982). Por derivação dos modelos ajustados aos dados de massa seca total (W) e área foliar (A), foram estimados valores instantâneos da taxa de crescimento da cultura (TCC=dW/dT), da taxa de crescimento relativo [TCR=(1/W) x (dW/dT)] e da taxa de assimilação líquida [TAL=(1/A) x (dW/dT)], no tempo (T).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambas as condições edafoclimáticas, no plantio de verão não houve emergência e desenvolvimento satisfatórios de brotos de yacon, visto que, as elevadas temperaturas (Figura 1), promoveram desidratação dos propágulos (rizóforos) no solo, além de mortalidade dos brotos recém-emergidos. Dessa forma, o tratamento referente à época de plantio, verão, foi excluído do experimento, e procedeu-se a análise de crescimento com os outros três tratamentos: plantios de outono, inverno e primavera. Diante do ocorrido, pode-se afirmar que o plantio de yacon no verão no Sul do Espírito Santo necessita de mais estudos sobre o manejo adequado para o cultivo nessas condições.

O tempo de emergência de brotos de yacon variou de acordo com a altitude e época de plantio. Em elevada altitude, foi observada emergência de brotos aos 60 dias após o plantio (DAP) de outono e inverno, e aos 30 DAP de primavera. Em baixa altitude, a emergência de brotos ocorreu aos 60 DAP de outono e aos 30 DAP de inverno e primavera. Os resultados denotam menor velocidade de emergência sob temperaturas mais amenas, que ocorreram na condição de altitude elevada (Figura 1), semelhante ao observado em Cajamarca no Peru (SEMINARIO et al., 2003).

O ciclo de cultivo do yacon também variou em função da altitude e época de plantio. Em elevada altitude, o florescimento, que determinou o final do ciclo de cultivo, ocorreu aos 210 dias após a emergência (DAE) do plantio de outono, aos 180 DAE do plantio de inverno e aos 150 DAE do plantio de primavera. Notam-se valores decrescentes de ciclo à medida que o plantio se aproximou do verão. Em baixa altitude, o florescimento ocorreu aos 180 DAE do plantio de outono, aos 150 DAE do plantio de inverno e aos 180 DAE do plantio de primavera. Esse maior ciclo de cultivo do plantio de primavera em baixa altitude está relacionado ao estresse térmico em que as plantas foram submetidas durante o verão, sendo que a partir dos 90 DAE, foram observados menor crescimento e danos nas folhas, e somente a partir dos 150 DAE, com a diminuição da temperatura (Figura 1), é que as plantas voltaram a crescer e por sua vez, atingiram maturidade fisiológica e floresceram.

Esses resultados estão de acordo com National Research Council (1989) e Seminario et al. (2003), que verificaram florescimento do yacon entre quatro e dez meses após o plantio, sendo que este fator variou de acordo com as condições climáticas onde a planta foi cultivada e além disso, em altitudes mais baixas, a maturidade também foi adiantada.

O acúmulo de massa seca total (MST) foi praticamente crescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon em todas as épocas de plantio, em ambas as altitudes, no entanto com características diferentes. Em elevada altitude, foi observado que o plantio de primavera

promoveu o máximo acúmulo de MST (1399,80 g m⁻²) aos 150 DAE, o plantio de inverno (1314,04 g m⁻²) aos 180 DAE e o plantio de outono (1898,38 g m⁻²) aos 210 DAE (Figura 2A). Nota-se que o plantio de outono promoveu um ciclo mais longo, o que pode ter beneficiado o maior acúmulo de MST observado.

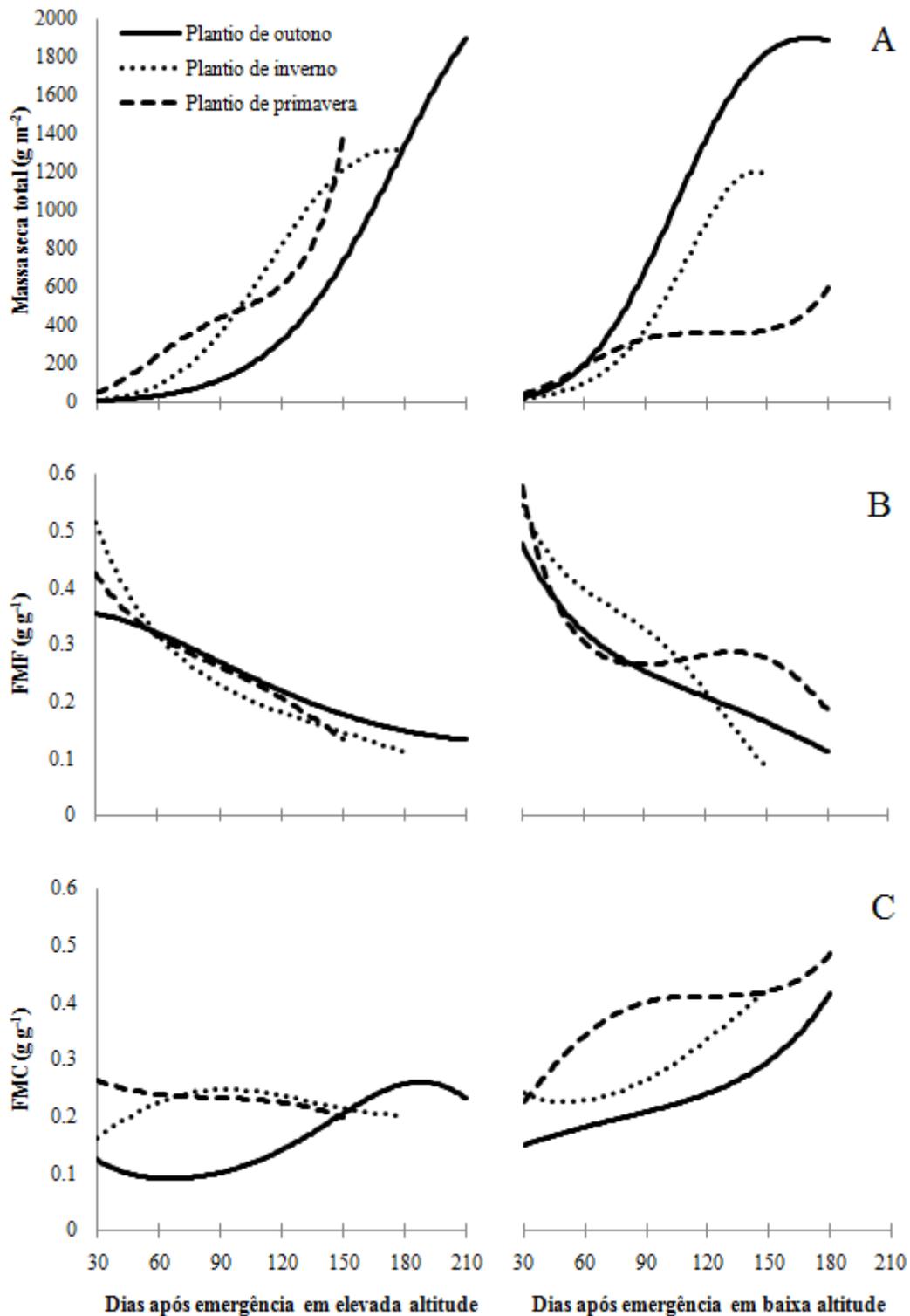


Figura 2. Massa seca total, fração de massa foliar (FMF) e fração de massa caulinar (FMC) ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014.

Em baixa altitude, o acúmulo de MST no início do ciclo de cultivo do yacon foi semelhante para as diferentes épocas de plantios, porém, a partir dos 75 DAE, iniciou-se uma diferenciação nos comportamentos, de modo que o plantio de outono passou a acumular maiores valores de MST, sendo observado valores máximos próximo aos 150 DAE do plantio de outono ($1823,75 \text{ g m}^{-2}$), aos 144 DAE do plantio de inverno ($1201,50 \text{ g m}^{-2}$) e aos 180 DAE do plantio de primavera ($599,23 \text{ g m}^{-2}$).

De forma geral, foi observado que à medida que se plantou o yacon mais próximo da estação do verão, os valores observados para os acúmulos máximos de MST, em ambas as altitudes, foram menores, sendo esse comportamento mais evidente nas condições de baixa altitude, inclusive os valores de acúmulo máximo de MST observados no plantio de primavera para essa altitude, giraram em torno de 33% do observado com os plantios de outono.

O menor acúmulo de MST no plantio de primavera em baixa altitude pode ser um indicativo da ocorrência de estresse térmico, visto que, ao longo do seu ciclo de cultivo foram observadas temperaturas máximas acima dos $29 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo que, nos meses de janeiro e fevereiro a mesma ficou próxima aos $35 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 1).

A fração de massa foliar (FMF) foi decrescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon em ambas as altitudes e épocas de plantio, com exceção do plantio de primavera em baixa altitude, que se estabilizou dos 60 aos 150 DAE, indicando uma paralização no crescimento da planta, o que pode ser atribuído à ocorrência de estresse térmico nesse período (Figura 1), sendo que logo que as condições voltaram a ser favoráveis a FMF voltou a decrescer (Figura 2B).

Quanto à fração de massa caulinar (FMC), em elevada altitude, foram observados comportamentos diferentes, sendo que o yacon plantado no outono a FMC foi aumentando lentamente, sendo praticamente crescente ao longo do ciclo de cultivo iniciando uma redução ao final, próximo aos 180 DAE. No entanto, no plantio de inverno a FMC cresceu rapidamente nos primeiros 90 DAE (que é praticamente a metade do ciclo cultural do yacon quando plantado nessa época), e posteriormente decresceu até o final do ciclo. Já para o plantio de primavera a FMC foi sempre decrescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon (Figura 2C).

Para a condição de baixa altitude, a FMC foi sempre crescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon em ambas as épocas de plantio, com destaque para o plantio de primavera, que apresentou os maiores valores. Além disso, independente da época de plantio, em baixa

altitude foram observados maiores valores de FMC em relação à elevada altitude ao final do ciclo de cultivo do yacon.

A fração de massa de rizóforos (FMRi) foi sempre decrescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon em elevada altitude (Figura 3A). Já na condição de baixa altitude o comportamento foi diferente e, independente da época de plantio, foram observados valores crescentes de FMRi na fase inicial do ciclo, um decréscimo na fase intermediária, e novamente acréscimo no final do ciclo. Aparentemente, nessa condição de baixa altitude, nesse momento intermediário, a planta deixaria de investir nos rizóforos. Contudo, ao final do ciclo novamente foi observado acréscimo nos valores de FMRi, o que pode estar demonstrando uma maior participação dos rizóforos na massa total acumulada na planta ao final de ciclo. Outrossim, é que pode ser notado maiores valores de FMRi ou índice de colheita de rizóforos ao final do ciclo na condição de baixa altitude em relação à elevada altitude, independente da época de plantio, comportamento interessante para o sistema de cultivo, já que o rizóforo é o principal material propagativo da cultura.

Em se tratando da fração de massa de raízes tuberosas (FMRa), foi observado que essa foi crescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon em elevada altitude, com exceção do plantio de outono, onde observou-se um decréscimo dos 120 aos 180 DAE, com retomada de crescimento posteriormente (Figura 3B). Esse comportamento sugere que a planta estaria, momentaneamente, investindo em outro órgão, aparentemente em caules, já que a FMC (Figura 2C) é a única que se mantém crescente nesse mesmo período.

Em baixa altitude, de maneira geral, foi observado uma primeira fase de crescimento da FMRa e posterior decréscimo, sendo que para o plantio de outono e inverno observou-se que a máxima ocorreu em torno dos 120 DAE e para o plantio de primavera aos 105 DAE (Figura 3B). Contudo, observou-se que no plantio de inverno, houve uma decrescente contribuição da FMRa até os 60 DAE, mas que depois voltou a crescer. No entanto, observou-se um decréscimo da FMRa ao final do ciclo de cultivo em baixa altitude, independente da época de cultivo, sendo atribuído a esse fato a morte de raízes devido a ocorrência de rachaduras aliado a possíveis ataques de organismos fitopatogênicos, que por sua vez podem estar relacionados a condições de elevadas temperaturas (Figura 1) e excesso de umidade no solo provocado pela elevada precipitação, 482 mm, em dezembro (INCAPER, 2014).

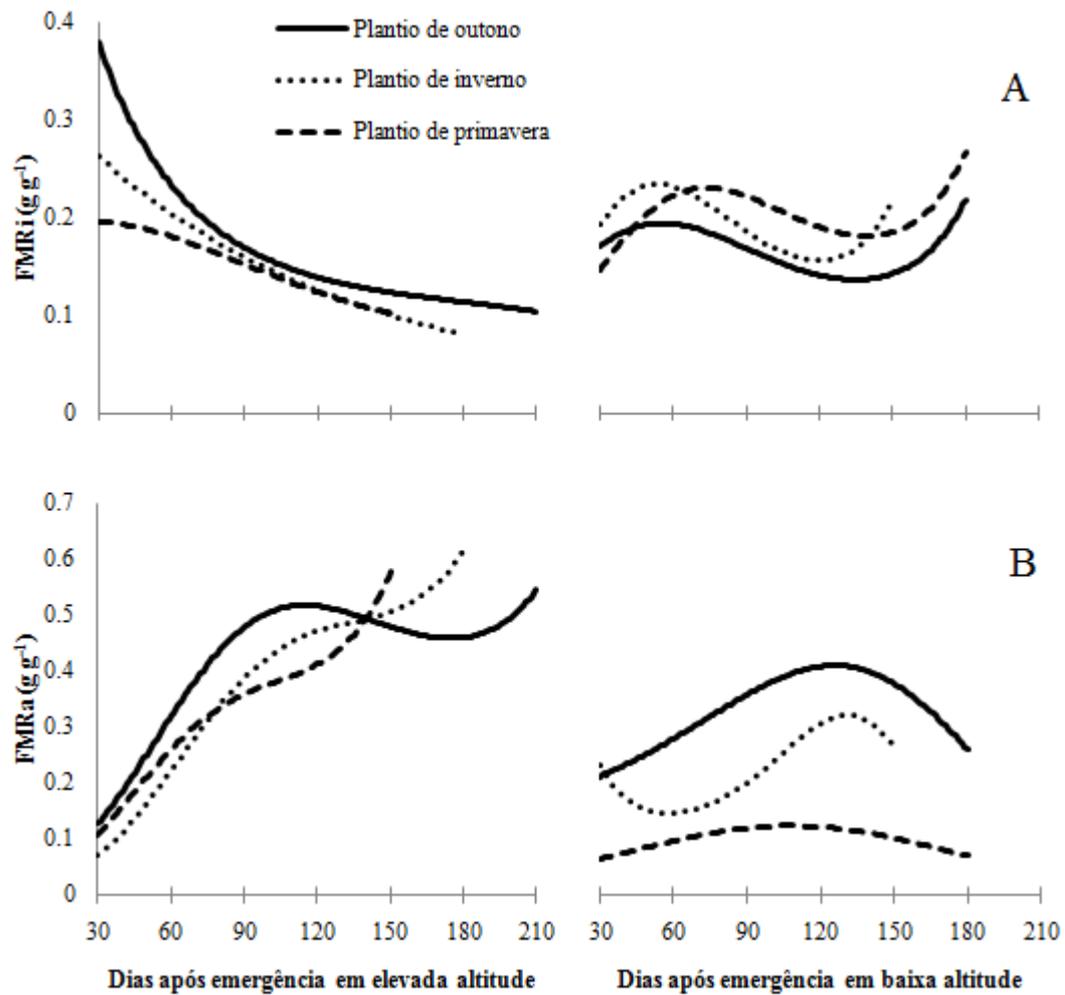


Figura 3. Fração de massa de rizóforos (FMRi) e fração de massa de raízes tuberosas (FMRa) ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014.

Cabe ressaltar que ao contrário do que ocorreu para FMC e FMRi, ao final do ciclo de cultivo foram observados maiores valores de FMRa, ou seja, maiores índices de colheita de raízes tuberosas nos cultivos em elevada altitude, independente da época de plantio. Esses resultados apontam para um comportamento diferenciado da planta em função das condições edafoclimáticas oferecidas nos ambientes cultivados, pois em momento mais avançado de ciclo de cultivo, nas plantas cultivadas em elevada altitude ocorreu intensa translocação de fotoassimilados para as raízes tuberosas, enquanto que nas plantas cultivadas em baixa altitude houve maior translocação para os rizóforos e caules.

Devido ao yacon possuir raiz tuberosa, o seu crescimento e desenvolvimento serão fortemente influenciados pelo processo de tuberização, que para ocorrer, é necessário a interação de fatores do meio e da planta, sendo influenciado pela luz, pela nutrição mineral, pela temperatura e pelos teores de reguladores de crescimento endógenos (FINGER et al.,

2005). Como o yacon vem sendo descrito como neutro ao fotoperíodo para a formação de caules e raízes (VILHENA et al., 2000; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004; SANTANA e CARDOSO, 2008), os resultados do presente estudo sugerem que a temperatura tenha sido o fator ambiental que mais influenciou no processo de tuberização e conseqüentemente no comportamento do yacon ao longo do seu ciclo de cultivo, visto que, altas temperaturas inibem a formação do órgão de reserva, enquanto baixas temperaturas promovem o crescimento do mesmo (RODRÍGUEZ-FALCÓN et al., 2006). Em batata (*Solanum tuberosum*), por exemplo, a temperatura ótima de tuberização é cerca de 17 °C, e temperaturas superiores a 30 °C são inibitórias desse processo, que por sua vez parece depender de alterações nos níveis de giberelinas e inibidores endógenos (KERBAUY, 2004).

Como o desenvolvimento ótimo do yacon ocorre sob temperaturas entre 18 e 25 °C, e baixa temperatura noturna parece ser necessária para a formação adequada de raízes tuberosas (SEMINARIO et al., 2003), acredita-se que a temperatura ao longo dos ciclos de cultivo em elevada altitude tenha sido mais favorável ao acúmulo de massa seca, inclusive com investimento preferencial na formação de raízes tuberosas em detrimento de caules e rizóforos, e o contrário ocorrendo nos plantios em baixa altitude, assim como verificado por National Research Council (1989) e Seminario et al. (2003). No entanto, em baixa altitude, o plantio de outono se destaca em relação a essas características mais desejáveis. Pois, ao longo do período experimental, as menores médias mensais de temperatura mínima ocorreram em agosto de 2013, sendo observado 12,6 °C em elevada altitude e 15,3 °C em baixa altitude e as maiores médias mensais de temperatura máxima foram de 30,7 e 35,1 °C, respectivamente, ambas em fevereiro de 2014 (Figura 1). Ressalta-se que em baixa altitude foram verificadas diferenças de no mínimo 3 °C para temperatura máxima e 2,5 °C para temperatura mínima acima daquela observada em elevada altitude.

A área foliar específica (AFE) foi praticamente decrescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon plantado no outono e no inverno, em ambas as altitudes (Figura 4A), assim como observado para outras culturas com órgão de reserva energética no sistema subterrâneo, como o taro (OLIVEIRA et al., 2011) e batata-doce (CONCEIÇÃO et al., 2005), no entanto, comportamento diferenciado foi observado em relação à batata (POHL et al., 2009).

Já os plantios de primavera, em ambas as altitudes, apresentaram AFE decrescente no início do ciclo de cultivo, no entanto a partir dos 75 DAE, em elevada altitude, e 90 DAE, em baixa altitude, apresentaram AFE crescente até o final do ciclo. Além disso, durante quase todo o ciclo foram observadas menores AFE nos plantios de primavera, principalmente em elevada altitude, denotando a produção de folhas mais grossas, possivelmente em função da

ocorrência de estresse térmico. Em baixa altitude, não foram notadas grandes diferenças de AFE devido à ocorrência de estresse térmico em todos os plantios, no entanto, com maior intensidade no plantio de primavera.

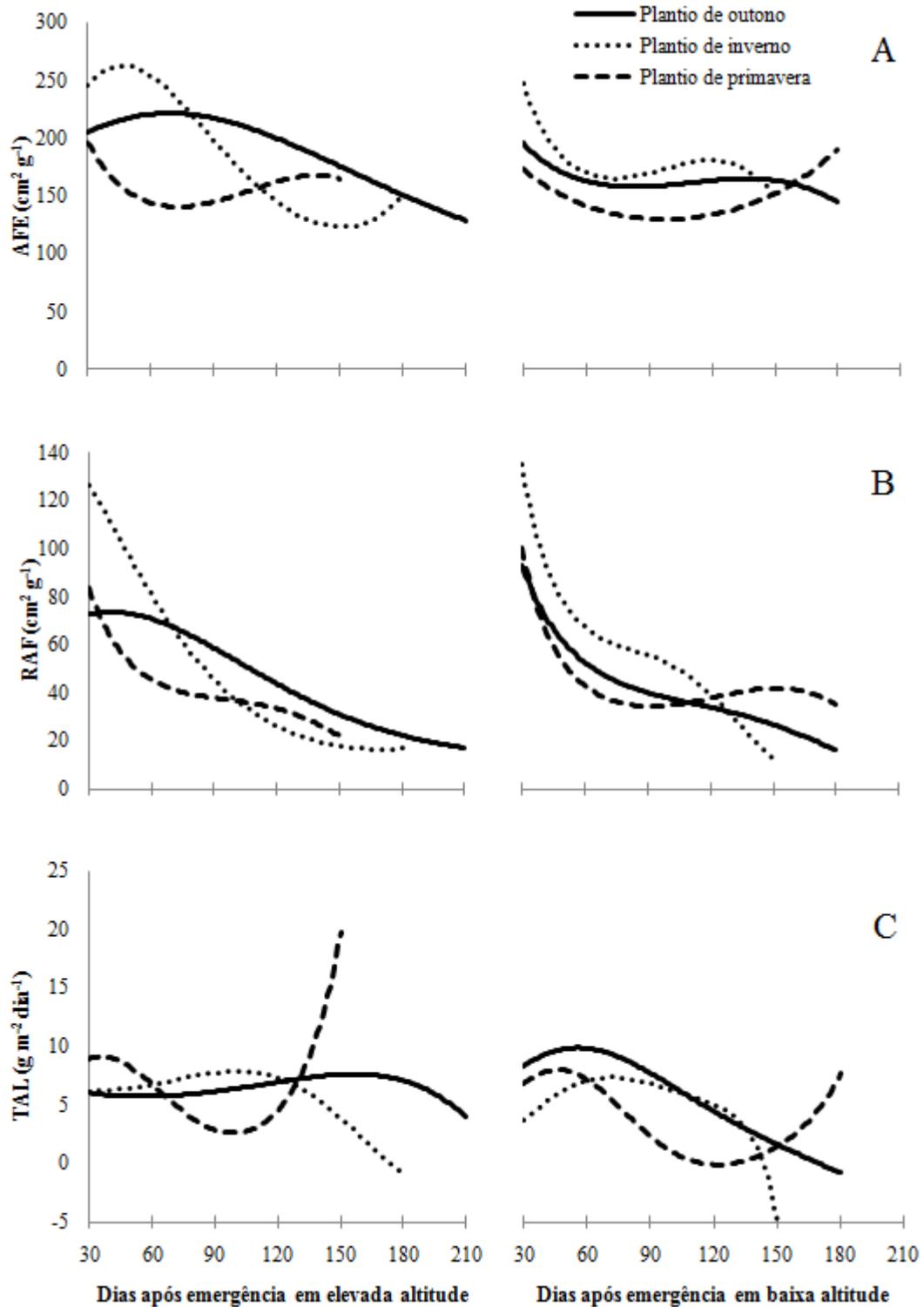


Figura 4. Área foliar específica (AFE), razão de área foliar (RAF) e taxa de assimilação líquida (TAL) ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014.

Essa mudança morfológica da folha pode ter ocorrido como forma de compensação à maior incidência de luz solar por m^{-2} de terreno, e conseqüentemente maiores temperaturas (Figura 1) recebidas pelas plantas durante uma boa parte do ciclo (primavera e verão), e dessa forma, amenizando os efeitos de fotoinibição e perda de água pela transpiração foliar.

A razão de área foliar (RAF) apresentou comportamento muito semelhante à FMF (Figura 2B), sendo decrescente ao longo do ciclo de cultivo do yacon em ambas as altitudes e épocas de plantio, com exceção do plantio de primavera em baixa altitude, que se estabilizou dos 60 aos 150 DAE, reforçando o indício de momentânea paralisação no crescimento das plantas em função do estresse térmico nesse período, de modo que quando as temperaturas se tornaram mais amenas (Figura 1) a planta voltou ao comportamento normal (Figura 4B).

Os resultados de RAF e AFE reforçam o que havia sido verificado para FMF, confirmando que na fase inicial da ontogenia das plantas ocorre investimento preferencial na formação de folhas, inclusive mais finas, denotando menor investimento de crescimento em espessura foliar e maior investimento em superfície foliar, para otimizar a captação de luz e produção de fotoassimilados para o crescimento vegetal.

A taxa de assimilação líquida (TAL), que é o incremento de biomassa vegetal por unidade de área foliar e de tempo, variou em função da época de plantio e da altitude em que o yacon foi cultivado (Figura 4C). Em elevada altitude foi observado que nos plantios de outono e inverno a TAL foi crescente durante uma boa parte do ciclo, aproximadamente até os 165 e 105 DAE, respectivamente, decrescendo desse ponto em diante, inclusive atingindo valores negativos no plantio de inverno. Já para o plantio de primavera observou-se que a TAL apresentou valores decrescentes a quase zero próximos dos 90 dias de ciclo, indicando que a atividade fotossintética das plantas estava praticamente igual à atividade respiratória, o que significa quase paralisação no seu crescimento, sendo que passado esse período inicial a TAL cresceu até o final do ciclo quando essa apresentou seus maiores valores para o plantio de primavera.

Nas condições da baixa altitude ocorreu comportamento similar, no entanto, o período de TAL crescente foi menor (aproximadamente até os 60 dias para as épocas de plantio de outono e inverno) e o decréscimo foi mais acentuado atingindo valores negativos na fase final de ciclo para ambos os plantios. Para o plantio de primavera, assim como já observado na condição de elevada altitude, observou-se que a TAL apresentou valores decrescentes chegando a atingir valores negativos, sendo que passado esse período inicial a TAL cresceu até o final do ciclo quando essa apresentou seus maiores valores para o plantio de primavera.

A TAL expressa o balanço entre a fotossíntese e a respiração, no entanto, como o yacon é uma planta de metabolismo de carbono do tipo C3, deve-se levar em conta também as perdas por fotorrespiração. Dessa forma, temperaturas elevadas prejudicam a assimilação de CO₂ pelas folhas, o que reforça a argumentação de que essa cultura é sensível ao estresse térmico, e se plantada na primavera, poderá reduzir consideravelmente sua taxa de fotossíntese por unidade de área foliar durante o verão (Figura 1), modificando seu comportamento ao longo do ciclo em relação aos demais plantios.

O índice de área foliar (IAF) do yacon, que corresponde à área foliar existente por unidade de área do terreno, foi sempre crescente ao longo do ciclo para todas as épocas de plantios, nas condições de elevada altitude, exceto para o plantio de inverno em que o máximo ocorreu em torno dos 120 DAE, se estabilizando posteriormente (Figura 5A). Dessa forma, os IAF máximos foram alcançados ao final do ciclo de cultivo e variaram entre 2,23 e 3,26 m² m⁻². Contudo, na fase inicial dos ciclos dos cultivos em elevada altitude observou-se menor IAF no plantio de outono, que em compensação promoveu um ciclo mais longo, o que pode ter beneficiado no maior IAF verificado ao final do ciclo.

Em baixa altitude, observou-se IAF diferenciado, sendo que para os plantios de outono e inverno, foi crescente até 138 e 119 DAE, respectivamente, depois apresentou queda até o final do ciclo, em virtude da taxa de senescência ter sobrepujado a taxa de emissão de folhas novas, enquanto que no plantio de primavera foi sempre crescente, e conseqüentemente o IAF máximo foi observado ao final do ciclo de cultivo (Figura 5A).

Ressalta-se que o maior IAF foi observado no plantio de outono em baixa altitude (5,10 m² m⁻²), que são valores próximos ao verificado por Seminario et al. (2003) no Perú, sendo média de 4,86 m² m⁻², em três morfotipos de yacon plantados a uma densidade de 18500 plantas ha⁻¹.

Nota-se que o IAF máximo (Figura 5A) nos plantios de primavera, em ambas as altitudes, coincidiu com o momento de maior TAL (Figura 4C). No entanto, o IAF máximo nos plantios de outono e inverno, em ambas as altitudes, ocorreu em momento posterior ao período de maior TAL (Figura 4C), principalmente em baixa altitude, evidenciando a possível ocorrência de autossombreamento foliar, fato que contribuiu para a redução dessa taxa. Dessa forma, a TAL decresce com aumento no IAF, tornando-se difícil o aumento da produção de massa seca das raízes tuberosas do yacon, simplesmente incrementando apenas a área foliar, sugerindo que mudanças na arquitetura da planta seriam interessantes, como na distribuição das folhas no dossel e no ângulo foliar.

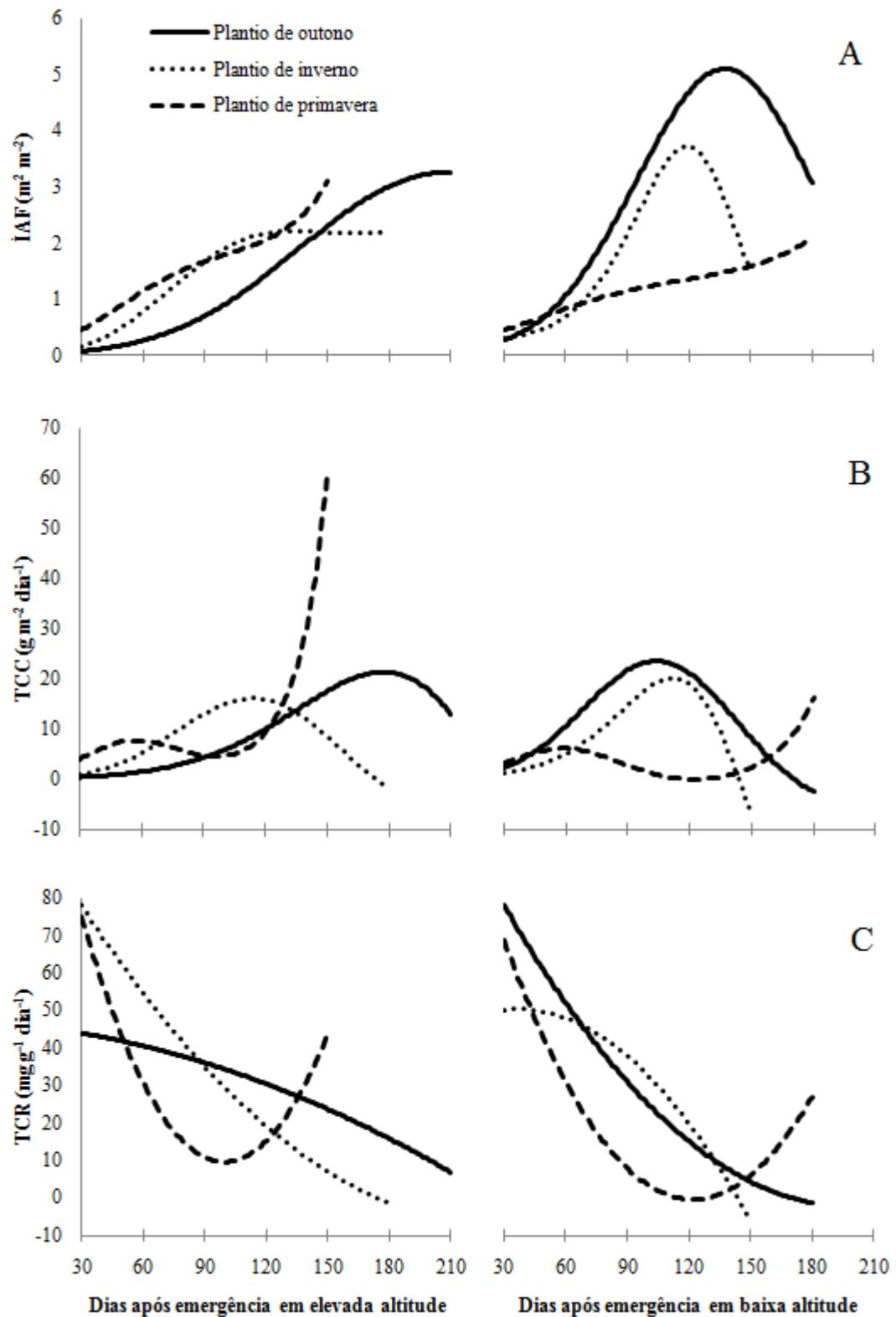


Figura 5. Índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento da cultura (TCC) e taxa de crescimento relativo (TCR), ao longo do ciclo de cultivo do yacon em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitude, e três épocas de plantio. UFES, Alegre e Ibatiba, ES, 2013/2014.

No entanto, aliado ao autossombreamento das folhas inferiores da planta, a queda nos valores da TAL durante o desenvolvimento da cultura também pode ocorrer devido ao aumento da idade média das folhas, reduzindo, assim, sua taxa fotossintética (POHL et al., 2009). Entretanto, é importante ressaltar que a TAL não é determinada somente pela taxa fotossintética, mas também pela dimensão da área foliar, pela duração do período vegetativo, pela distribuição das folhas no dossel, pelo ângulo foliar, pela translocação e partição de assimilados.

Normalmente, o aparecimento de órgãos de reserva, como as raízes tuberosas, que são drenos metabólicos fortes e com grande força de mobilização de assimilados induz a uma aceleração na senescência foliar, consequentemente reduzindo o IAF (CONCEIÇÃO et al., 2005). Porém, esse comportamento foi observado somente nos plantios de outono e inverno em baixa altitude (Figura 5A), possivelmente em função das elevadas temperaturas do verão, aliado ao início do período reprodutivo do yacon plantado nessas épocas. Diferentemente do observado nesses dois casos, alguns autores relataram verificar senescência da parte aérea do yacon em momento posterior ao florescimento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004; MANRIQUE et al., 2005; SANTANA e CARDOSO, 2008) e não de forma concomitante.

Além disso, observou-se que o acúmulo de MST nas plantas (Figura 2A), em ambas as altitudes e épocas de plantio, foi mais influenciado pelo IAF (Figura 5A) do que pela TAL (Figura 4C), visto que, o comportamento e o ponto de inflexão da curva do IAF ficaram mais próximos do observado para a curva de MST, do que o observado para a TAL.

A taxa de crescimento da cultura (TCC) pode ser usada para analisar a velocidade média de crescimento ao longo do período de observação. Nos plantios de outono e inverno em ambas as altitudes, essa taxa foi crescente até determinado momento do ciclo, quando atingiu máxima TCC e posteriormente decresceu (Figura 5B), semelhante às culturas da batata (*Solanum tuberosum*) (POHL et al., 2009), batata-doce (*Ipomoea batatas*) (CONCEIÇÃO et al., 2005) e taro (*Colocasia esculenta*) (OLIVEIRA et al., 2011), ambas com órgãos de reserva energética no sistema subterrâneo. Em elevada altitude, as TCC máximas foram de 21,40 g m⁻² dia⁻¹ aos 177 DAE do plantio de outono e 16,16 g m⁻² dia⁻¹ aos 114 DAE do plantio de inverno. Em baixa altitude, foram de 23,42 g m⁻² dia⁻¹ aos 104 DAE do plantio de outono e 19,99 g m⁻² dia⁻¹ aos 112 DAE do plantio de inverno.

A queda nos valores de TCC a partir de um máximo atingido aponta para uma translocação mais intensa de substâncias de reserva em direção às raízes tuberosas, e consequentemente, menor emissão e maior senescência foliar, assim como observado em

batata-doce (CONCEIÇÃO et al., 2005). Além disso, a partir da TCC máxima ocorre mudança na fase de desenvolvimento ontogênico das espécies, normalmente marcando o início do período reprodutivo e progredindo até o final do ciclo, o que corrobora com observações em outras espécies cultivadas, sendo o padrão de crescimento considerado característico de culturas anuais e de espécies de crescimento determinado (HUNT, 1982).

Comportamento diferente foi observado para os plantios de primavera, onde em ambas as altitudes, a TCC apresentou um pequeno crescimento no início do ciclo e depois decresceu até aos 100 e 120 DAE, em elevada e baixa altitude respectivamente, atingindo valores negativos em baixa altitude (Figura 5B). Posteriormente, essa taxa voltou a crescer até o final do ciclo de cultivo em ambas as altitudes, quando alcançaram as máximas TCC, sendo de $61,18\ 44\ \text{g m}^{-2}\ \text{dia}^{-1}$ aos 150 DAE em elevada altitude e $16,19\ \text{g m}^{-2}\ \text{dia}^{-1}$ aos 180 DAE em baixa altitude.

Sabe-se que as TCC máximas são dependentes do genótipo e certamente uma função da duração do ciclo de desenvolvimento, bem como de fatores ambientais (CONCEIÇÃO et al., 2005). No entanto, as TCC máximas encontradas no presente estudo foram influenciadas somente pelos fatores ambientais, principalmente a temperatura (Figura 1), visto que, na propagação foram utilizados rizóforos provenientes de um mesmo clone.

Assim, os resultados novamente apontam que os plantios de primavera podem expor a planta ao estresse térmico que muda seu comportamento, inclusive apresentando maior demanda em adubos e água de irrigação em fase mais avançada do ciclo, tendo em vista que os períodos próximos à máxima TCC são os momentos de maior utilização de recursos produtivos pela cultura. Apesar disso, a maior TCC ao final do ciclo de cultivo do plantio de primavera em elevada altitude, compensou a menor velocidade de crescimento observada em momentos iniciais de desenvolvimento (Figura 5B), que dessa forma, ainda conseguiu acumular biomassa semelhante ao plantio de inverno em mesma altitude ao final do ciclo de cultivo, o que não foi verificado em baixa altitude (Figura 2A).

Pode relacionar que a TCC de todos os plantios em elevada altitude e do plantio de primavera em baixa altitude foi mais influenciada pela TAL (Figura 4C) do que pelo IAF (Figura 5A), e o contrário ocorreu nos plantios de outono e inverno em baixa altitude, visto que o comportamento e os pontos de inflexão das curvas ficaram mais próximos (Figura 4 e 5), podendo ser atingidos valores negativos de TCC em resposta à redução no acúmulo de biomassa ao final do ciclo (HUNT, 1982).

Além do mais, o IAF ótimo é obtido em momento de máxima TCC. Portanto, os IAF ótimos dos plantios de primavera em ambas as altitudes, foram os próprios IAF máximos. No

entanto, em elevada altitude, os IAF ótimos alcançados foram de 2,96 m² m⁻² aos 177 DAE do plantio de outono, e de 2,12 m² m⁻² aos 114 DAE do plantio de inverno. Em baixa altitude, foram de 3,77 m² m⁻² aos 104 DAE do plantio de outono, e de 3,58 m² m⁻² aos 112 DAE do plantio de inverno.

A taxa de crescimento relativo (TCR), que expressa o incremento de massa seca em relação à biomassa preexistente, foi sempre decrescente ao longo do ciclo de cultivo nos plantios de outono e inverno em ambas as altitudes (Figura 5C). Percebeu-se na fase inicial de crescimento das plantas que as TCR são maiores, o que significa rápido acúmulo de massa seca em relação à biomassa preexistente, e que essa reduz com o passar do tempo, sofrendo maior influência da ontogenia da planta do que a TAL (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005).

Esse comportamento de TCR é amplamente reportado na literatura (CONCEIÇÃO *et al.* 2005; BARCELOS *et al.*, 2007; POHL *et al.*, 2009) e pode ser explicado pelo aumento da competição intraespecífica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento (GAVA *et al.*, 2001). O decréscimo da TCR com o avanço da idade da planta é resultado, em parte, do aumento gradativo de tecidos não fotossintetizantes com a ontogenia da planta (REYES-CUESTA *et al.*, 1995). Por conseguinte, nos plantios de primavera em ambas as altitudes, o aumento da TCR (Figura 5C) foi fortemente influenciado pelo aumento da TAL (Figura 4C), ambas ao final do ciclo de cultivo, assim como verificado para a TCC (Figura 5B).

Diferentemente do observado para as outras épocas de plantio, nos plantios de primavera, nota-se TCR decrescente até os 100 e 122 DAE em elevada e baixa altitudes, respectivamente (Figura 5C). A partir de então, com a diminuição da temperatura, apresentaram TCR crescentes até o final do ciclo de cultivo, porém, com maior intensidade na condição de elevada altitude, possivelmente devido às temperaturas mais amenas que favoreceram o crescimento da TCR em relação à condição de baixa altitude (Figura 1 e 5C). Mais um apontamento de que os plantios de primavera promovem comportamento diferenciado, possivelmente devido ao estresse térmico ocorrido durante os meses de verão, momento em que a média máxima de temperatura ficou acima dos 30 °C (Figura 1) e as plantas encontravam-se ainda em fase menos avançada de ciclo, o que permitiu uma aceleração no crescimento depois de retornado as condições de temperaturas mais ideais.

CONCLUSÃO

Em conclusão, os resultados indicam que o plantio de verão necessita de mais estudos sobre o manejo adequado para o cultivo nas condições edafoclimáticas do Sul do Espírito

Santo. Em relação às outras épocas de plantio, a emergência de brotos de yacon ocorre até os 60 dias após o plantio e o florescimento ocorre entre 150 e 210 dias após a emergência, sendo que o ciclo de cultivo tende a encurtar-se em baixa altitude e quanto mais próximo do verão for feito o plantio.

O plantio do yacon realizado no outono, em ambas as altitudes, promove taxas de crescimento maiores ou mais longas, o que contribui para um maior acúmulo de massa seca. Mas, independente da época de plantio, o cultivo em elevada altitude promove maior índice de colheita de raízes tuberosas, enquanto em baixa altitude promove maior índice de colheita de rizóforos e maior fração de massa de caules.

AGRADECIMENTOS

A Capes pela bolsa de doutorado. Ao CNPq e FAPES, pelo auxílio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E.N.; ROLIM, P.M. Potencialidades do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) no diabetes *Mellitus*. **Revista Ciências Médicas**, v.20, n.3-4, p.99-108, 2011.

BARCELOS, D.M.; GARCIA, A; MACIEL JUNIOR, V.A. Análise de crescimento da cultura da batata submetida ao parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura, em um latossolo vermelho-amarelo. **Ciência e Agrotecnologia** 31: 21-27, 2007.

BONET, M. E. B.; MESON, O.; LEBLANK, A. M.; DOGI, C. A.; CHAVES, S.; KORTSARZ, A.; GRAU, A.; PERDIGÓN, G. Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model. **Food and Agricultural Immunology**, v.21, n. 2, p. 175-189, jun. 2010.

CAMPOS, D; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, p. 1592–1599, 2012.

CONCEIÇÃO, M.K.; LOPES, N.F.; FORTES, G.R.L. Análise de crescimento de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) lam) cultivares abóbora e da costa. **Revista Brasileira de Agrociência**, 11: 273-278, 2005.

DELGADO, G.T.C.; THOMÉ, R.; GABRIEL, D.L.; TAMASHIRO, W.M.S.C; PASTORE, G.M. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse. **Nutrition Research**, v.32, p.884-892, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FINGER, F.L.; FONTES, P.C.R.; PAUIATTI, M. Dormência e tuberização. In: FONTES P.C.R. (Ed.). **Olericultura teoria e prática**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, MG, 2005. p. 31-38.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W. Growth and accumulation of nitrogen by sugarcane cultivated in soil covered with cane trash. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36: 1347-1354, 2001.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M.; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S.S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, n. 2, p. 182–187, 2009.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M.; MERCADO, M.I.; GRAU, A.; CATALÁN, C.A.; SÁNCHEZ, S.S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: constituents of the most active fractions. **Chemico-Biological Interactions**, 185: 143–152, 2010.

GEYER, M.; MANRIQUE, I.; DEGEN, L.; BEGLINGER, C. Effect of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on Colonic Transit Time in Healthy Volunteers. **Digestion**, v. 78, p.30-33, 2008.

HABIB, N. C.; HONORÉ, S. M.; GENTA, S. B.; SÁNCHEZ, S. S. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, p. 31-39, 2011.

HUNT, R. **Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248p.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=bol>> Acesso em 20 jul. 2014.

KEENAN, D.F.; BRUNTON, N.; BUTLER, F.; WOUTERS, R.; GORMLEY, R. Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purees enriched with prebiotic inclusions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2011.

KERBAUY, G. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETTI, T. M. C. C. Effects of fructans containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, n. 4, p. 776-785, 2007.

LOBO, A.R.; COCATO, M.L.; BORELLI, P.; GAIEVSKI, E.H.S.; CRISMA, A.R.; NAKAJIMA, K.; NAKANO, E.Y.; COLLI, C. Iron bioavailability from ferric pyrophosphate in rats fed with fructan containing yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Food Chemistry**, v.126, p.885-891, 2011.

MOURA, N.A. de; CAETANO, B.F.R.; SIVIERI, K.; URBANO, L.H.; CABELLO, C.; RODRIGUES, M.A.M.; BARBISAN, L.F. Protective effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, 50: 2902-2910, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Lost crops of the incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation.** Washington: Academy Press, 1989. 415 p.

OLIVEIRA, F.L.; ARAUJO, A.P.; GUERRA, J.G.M. Crescimento e acumulação de nutrientes em plantas de taro sob níveis de sombreamento artificial. **Horticultura Brasileira**, 29: 291-298, 2011.

OLIVEIRA, G.O.; BRAGA, C.P.; FERNANDES, A.A.H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Chemical Toxicology**, v.59, p.256-260, 2013.

OLIVEIRA, M.A.; NISHIMOTO, E.K. Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, 7: 215-220, 2004.

POHL, S.; LOPES, N.F.; BRAGA, E.J.B.; SILVA, C.P.; SILVA, F.S.P.; PETERS, J.A. 2009. Características de crescimento de plantas de batata, cv. Baronesa, e seu genótipo transformado geneticamente para resistência ao PVY. **Revista Ceres**, 56: 736-743, 2009.

REYES-CUESTA, R.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; FRANCO, A.A. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* em função da fonte de nitrogênio. **Revista Ceres**, 42: 405-455, 1995.

RODRÍGUEZ-FALCÓN, M.; BOU, J.; PRAT, S. Seasonal control of tuberization in potato: conserved elements with the flowering response. **Annu Rev Plant Biol**, 57: 151–180, 2006.

SANTANA, I.; CARDOSO, M.H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, 38: 898-905. 2008.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio.** Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2003. 60p.

SOLEIMANI, N.; HOSEINIFAR, S.H.; MERRIFIELD, D.L.; BARATI, M.; ABADI, Z.H. Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, n. 2, p. 316-321, 2012.

TOSTES, M.G.V.; VIANA, M.L.; GRANCIERI, M.; LUZ, T.C.S.; PAULA, H.; PEDROSA R.G.; COSTA, N.M.B. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v.9142, p.666- 672, 2014.

VIGNALE, N.D.; GURNI, A.A. Identificación micrográfica de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Acta Farmaceutica Bonaerense**, v. 24, p. 96-98, 2005.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, S.T. O cultivo de yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, 18: 5-8, 2000.

YASUDA, A.; INOUE, K.; SANBONGI, C.; YANAGISAWA, R.; ICHINOSE, T.;

TANAKA, M.; YOSHIKAWA, T.; TAKANO, H. Dietary supplementation with fructooligosaccharides attenuates allergic peritonitis in mice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 422, p. 546–550, 2012.

ARTIGO CIENTÍFICO II

PRODUÇÃO DE YACON CULTIVADO EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO NO SUL DO ESPÍRITO SANTO

RESUMO

Estudos realizados em diversos países mostraram que o potencial produtivo do yacon varia de acordo com a localidade geográfica. Com isso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produção dessa espécie cultivada em duas condições edafoclimáticas em diferentes épocas de plantio no Sul do Espírito Santo. O experimento foi conduzido em elevada (837 m) e baixa (113 m) altitude, sendo o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, e os tratamentos constituídos por quatro épocas de plantio: outono, inverno, primavera e verão. Por ocasião da colheita das raízes tuberosas foram avaliados: número de folhas por planta, índice de área foliar, altura da planta, diâmetro do caule, número de hastes por planta, massa seca de folhas, caules, rizóforos, raízes tuberosas e total, produtividade de rizóforos e de raízes tuberosas grandes, médias, pequenas e total. O cultivo de yacon em elevada altitude promoveu maior produtividade de raízes tuberosas e maior acúmulo de massa seca de folhas, enquanto que nas condições da baixa altitude, promoveu maior número de hastes, acúmulo de massa seca de caule e produtividade de rizóforos. De forma geral o plantio de yacon realizado no outono, ocorrido no mês de abril, em ambas as condições edafoclimáticas, promoveu melhor desenvolvimento vegetativo, com plantas mais altas e com maiores diâmetro do caule, índice de área foliar e acúmulo de massa seca de folha, caule, rizóforo, raiz tuberosa e total, além de maiores produtividades de raízes tuberosas e rizóforos.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*. Raiz tuberosa. Rendimento. Cultivo.

ABSTRACT

YACON PRODUCTION GROWN IN TWO SOIL AND CLIMATE CONDITIONS AND PLANTING DATES IN SOUTHERN ESPÍRITO SANTO, BRAZIL

Studies in several countries have shown that the production of yacon potential varies according to geographical location. Thus, the aim of the present study was to evaluate the production of this species grown in two soil and climatic conditions in different planting dates in the Southern Espírito Santo, Brazil. The experiment was conducted on high (837 m) and low (113 m) altitude, and the experimental design of randomized blocks with four replications, and the treatments consisted of four planting dates: fall, winter, spring and summer. At harvest of tuberous roots were evaluated: number of leaves per plant, leaf area index, plant height, stem diameter, number of stems per plant, dry matter of leaves, stems, rhizophores, tuberous roots and all, productivity of rhizophores and large tuberous roots, medium, small and full. The yacon cultivation in high altitude promoted greater productivity and greater tuber dry matter accumulation of leaves roots, while in the low-altitude conditions, promoted greater number of stems, dry matter accumulation of stem and rhizophores productivity. Overall planting yacon held in the fall, which occurred in April in both soil and climate condition, promoted better plant growth, with taller plants with larger stem diameter, leaf area index and dry matter accumulation sheet stem rhizophore, tuberous root and all, as well as higher yields of tuberous roots and rhizophores.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*. Tuberous root. Yield. Production. Cultivation.

INTRODUÇÃO

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta, da família Asteraceae, de origem andina que demonstra possibilidades de adaptação quanto ao clima e solo (VILHENA et al., 2000; SANTANA e CARDOSO, 2008). Nas condições dos Andes, o yacon pode ser plantado durante todo o ano se utilizada irrigação, caso contrário, o plantio deve ser feito durante a estação das chuvas. Seu desenvolvimento ótimo ocorre sob temperaturas entre 18 e 25 °C, porém suas folhas são capazes de tolerar altas temperaturas sem sintomas de danos, desde que a umidade do solo seja adequada. Entretanto, baixa temperatura noturna parece ser necessária para a formação adequada de raízes tuberosas (SEMINARIO et al., 2003).

Nessa região, o yacon se desenvolve desde o nível do mar até 3600 m de altitude, no entanto, as médias entre 1500-2000 m de altitudes são melhores para a produção de raízes tuberosas, enquanto as planícies costeiras para a produção de rizóforos, que são utilizados como material de propagação para o próximo plantio (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989).

Estudos realizados em diversos países como Coreia, Equador, Japão, Peru, República Checa e Estados Unidos, mostraram que o potencial produtivo desta espécie varia e pode atingir rendimentos entre 25,6 até 119 t ha⁻¹ de raízes tuberosas (OGISO et al., 1990; NIETO, 1991; DOO et al., 2001; SEMINARIO et al., 2003; FERNANDEZ et al., 2006; SUMIYANTO et al., 2012). Entretanto, no Brasil, Oliveira e Nishimoto (2004) obtiveram rendimentos de até 45 t ha⁻¹ de raízes tuberosas na região de Botucatu - SP e Kakiyama et al. (1996) de 100 t ha⁻¹ na região de Capão Bonito - SP.

Descrita como neutra ao fotoperíodo para a formação de raízes tuberosas, a planta alcança a maturidade fisiológica entre seis e dez meses após o plantio, quando tem início a floração, sendo que este fator depende da região onde a planta é cultivada, além do que, em altitudes mais baixas, a maturidade é adiantada (VILHENA et al., 2000; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004; SANTANA e CARDOSO, 2008).

Diferente da maioria das plantas que armazenam em suas raízes tuberosas carboidratos na forma de amido, o yacon armazena boa parte dos carboidratos na forma de frutanos, apresentando grandes quantidades de frutooligossacarídeos (FOS). Vários benefícios do consumo de yacon têm sido atribuídos ao seu conteúdo de FOS como efeito imunoestimulatório (BONET et al., 2010; DELGADO et al., 2012; YASUDA et al., 2012; TOSTES et al., 2014), prebiótico (KEENAN et al., 2011; SOLEIMANI et al., 2012; CAMPOS et al., 2012) e protetor contra câncer de cólon (MOURA et al., 2012), além de ter

papel na redução de lipídios séricos (HABIB et al., 2011), no balanço e na absorção do cálcio (LOBO et al., 2007), na regularização intestinal (GEYER et al., 2008; GENTA et al., 2009; ALBUQUERQUE & ROLIM, 2011; LOBO et al., 2011) e na modulação da insulinemia de jejum (GENTA et al., 2009). Seu consumo também tem proporcionado efeitos medicinais no controle de doenças crônicas envolvendo diabetes (GENTA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013); controle de pressão arterial e dos níveis de colesterol (VIGNALE e GURNI, 2005; OLIVEIRA et al., 2013).

As características da planta e da raiz têm sido vinculadas aos inúmeros benefícios para o consumidor em geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico (BORGES et al., 2012). No entanto, no Brasil as áreas de cultivo se restringem a poucas localidades e as informações sobre seu manejo ainda são escassas, em particular para as condições do Espírito Santo são praticamente inexistentes.

Face ao exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produção do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas e diferentes épocas de plantio no Sul do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas condições edafoclimáticas na região Sul do Espírito Santo, Brasil, no período de abril de 2013 a abril de 2014: em Ibatiba/ES, a 20° 17' de latitude Sul e 41° 37' de longitude Oeste e altitude de 837 m (elevada altitude), e em Alegre/ES, a 20° 45' de latitude Sul e 41° 29' de longitude Oeste e altitude de 113 m (baixa altitude).

Em cada condição edafoclimática, o experimento foi montado obedecendo ao delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro épocas de plantio realizadas em 2013: outono (abril), inverno (julho), primavera (setembro) e verão (dezembro).

A unidade experimental foi constituída de cinco linhas de plantio de 4 m, espaçadas de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 8 plantas de yacon por linha de plantio. No entanto, somente dez plantas colhidas nas três linhas centrais, com exceção das bordaduras, foram utilizadas para a coleta de dados, ou seja, somente dez plantas centrais de cada parcela representaram a área útil.

O solo foi preparado por meio de aração a 30 cm seguida de gradagem. O plantio foi realizado em sulcos utilizando-se rizóforos de aproximadamente 35 g a uma profundidade de 10 cm, obedecendo ao espaçamento desejado. Foram colocados 180 g de esterco bovino

curtido por planta. O esterco bovino continha os seguintes nutrientes: 14,21 g kg⁻¹ de N; 4,75 g kg⁻¹ de P; 5,28 g kg⁻¹ de K; 4,29 g kg⁻¹ de Ca e 1,92 g kg⁻¹ de Mg. Ao longo do ciclo de cultivo foi realizado controle de plantas espontâneas e irrigação por aspersão convencional aplicando-se 30 mm de lâmina d'água semanais.

O solo, de ambos os locais, foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média (EMBRAPA, 2006), cuja amostra foi submetida ao Laboratório de Solos do CCA/UFES para análises química e física (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo em elevada (Ibatiba/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014.

Atributos do solo	Altitude	
	Elevada	Baixa
pH (água)	6,20	6,37
Fósforo Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	53,99	36,99
Potássio (mg dm ⁻³)	80,00	57,00
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,12	1,50
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,87	0,71
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	3,24	2,36
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,24	2,36
Saturação por bases (%)	64,10	64,09
Carbono orgânico total (%)	1,83	1,08
Nitrogênio total (%)	0,15	0,10
Areia (%)	68	60
Silte (%)	4	5
Argila (%)	28	35

As médias mensais de temperatura máxima e mínima estão representadas na Figura 1 e foram obtidas através das estações meteorológicas automáticas mais próximas do experimento, sendo do INMET em Alegre/ES (20,751° de latitude Sul, 41,489° de longitude Oeste e 138 m de altitude) e do INCAPER em Iúna/ES (20,357° de latitude Sul, 41,557° de longitude Oeste e 758 m de altitude).

Em momento de pleno florescimento das plantas, acima de 80 % do estande, foi realizada a colheita, que ocorreu, em elevada altitude, aos 270 dias após o plantio (DAP) de outono (em janeiro de 2014), aos 240 DAP de inverno e aos 180 DAP de primavera (ambas em março de 2014), e em baixa altitude, aos 240 DAP de outono (em dezembro de 2013), aos 180 DAP de inverno (em janeiro de 2014) e aos 210 DAP de primavera (em abril de 2014). Por ocasião da colheita foram avaliados: número de folhas por planta, índice de área foliar, altura da planta, diâmetro do caule, número de hastes por planta, massa seca de folhas, caules,

rizóforos, raízes tuberosas e total, produtividade de rizóforos e de raízes tuberosas grandes, médias, pequenas e total.

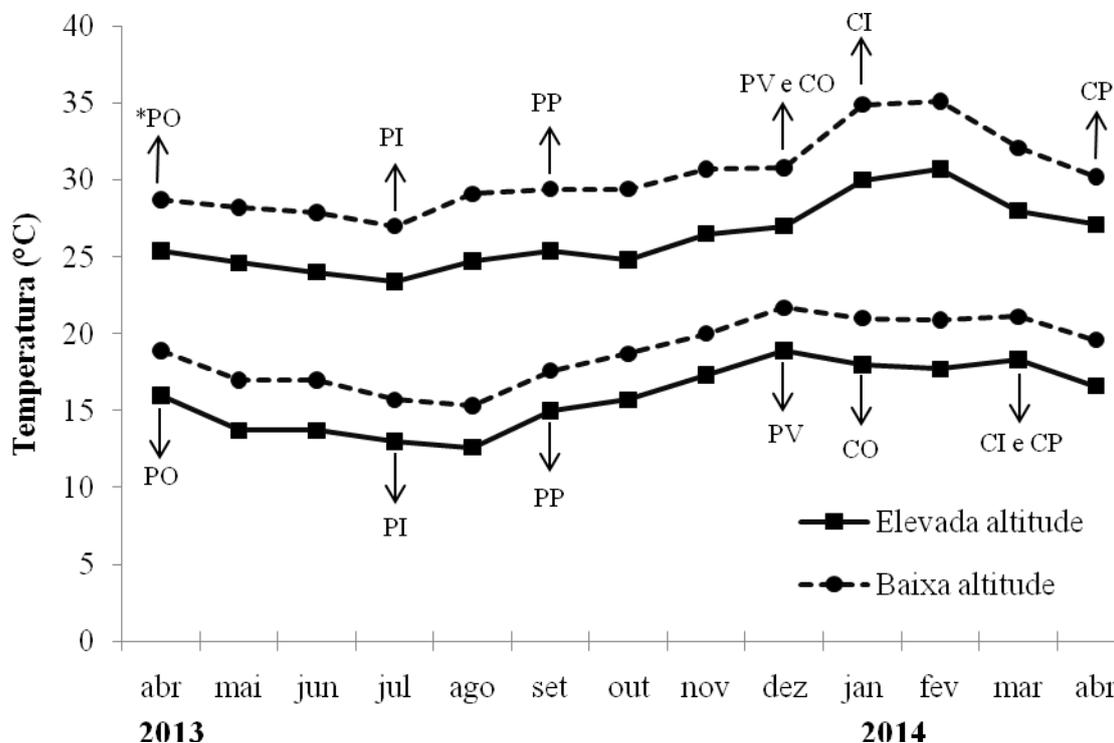


Figura 1. Médias mensais de temperatura, máxima e mínima, observadas no período de abril de 2013 a abril de 2014, em elevada (Íuna/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14. Fonte: Incaper (2014).

*PO (plantio de outono); PI (plantio de inverno); PP (plantio de primavera); PV (plantio de verão); CO (colheita do plantio de outono); CI (colheita do plantio de inverno); e CP (colheita do plantio de primavera).

A altura foi mensurada com auxílio de fita métrica, sendo determinada do nível do solo até o ápice do caule mais alto. O diâmetro foi mensurado com auxílio de paquímetro nesse mesmo caule, e o número de hastes foi mensurado considerando-se aqueles caules que brotaram diretamente do rizóforo plantado ou que possuíam valores acima de três pares de folha. A área foliar foi obtida por medidor fotoelétrico (Licor Area Meter 3100), e cada parte da planta foi seca em estufa com circulação forçada de ar a $70 \pm 5^\circ\text{C}$ até massa constante, e posteriormente obtida a massa seca.

A classificação das raízes tuberosas foi adaptada de Seminario et al. (2003), sendo que cada classe variou de acordo com o comprimento, o diâmetro e o peso da raiz tuberosa. Dessa forma, as raízes colhidas foram classificadas em grandes (comprimento maior que 20 cm, diâmetro maior que 7 cm e peso maior que 300 g) médias (comprimento entre 12 a 20 cm,

diâmetro entre 5 e 7 cm e peso entre 120 e 300 g) e pequenas (comprimento menor que 12 cm, diâmetro menor que 5 cm e peso menor que 120 g).

Os dados de área foliar, massa fresca e seca foram convertidos para biomassa por área de terreno e índice de área foliar, considerando a densidade de plantas de cada parcela (2 plantas m⁻²).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico Genes (CRUZ, 2006). Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, envolvendo as duas condições edafoclimáticas, pelo teste F em 5% de probabilidade, e a comparação das médias pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambas as condições edafoclimáticas, no plantio de verão não houve emergência e desenvolvimento satisfatórios de brotos de yacon, visto que, as elevadas temperaturas (Figura 1), promoveram desidratação dos propágulos (rizóforos) no solo, além de mortalidade dos brotos recém-emergidos. Dessa forma, o tratamento referente à época de plantio, verão, foi excluído do experimento, e procedeu-se a análise de crescimento com os outros três tratamentos: plantios de outono, inverno e primavera. Diante do ocorrido, pode-se afirmar que o plantio de yacon no verão no Sul do Espírito Santo necessita de mais estudos sobre o manejo adequado para o cultivo nessas condições.

A análise de variância conjunta revelou que todas as características avaliadas foram influenciadas pelas condições edafoclimáticas e/ou épocas de plantio, com exceção de número de folhas por plantas. A interação entre condições edafoclimáticas e épocas de plantio foi significativa para boa parte das características avaliadas, com exceção de número de folhas, índice de área foliar (IAF) e massa seca de folhas, denotando que a influência de cada fator ocorreu de forma independente para essas variáveis.

O número de folhas não foi influenciado pela condição edafoclimática nem pela época de plantio, ao contrário da massa seca de folhas que foi influenciada tanto pela condição edafoclimática, quanto pela época de plantio, sendo observados maiores valores na condição de elevada altitude e no plantio de outono, respectivamente (Tabela 2).

Ter maior massa seca de folhas pode significar uma alternativa de uso econômico da planta, tendo em vista que na medicina popular suas folhas são utilizadas *in natura* ou desidratadas, na forma de chá, contra diabetes e altas taxas de colesterol (VILHENA et al., 2000). A colheita das folhas é realizada manualmente, três vezes durante o ciclo, sendo

retiradas somente as folhas da parte mediana do caule (VILHENA et al., 2000). Há relato de rendimento de até 1 t ha⁻¹ de folhas frescas (KAKIHARA et al., 1996).

Tabela 2. Características foliares do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

	Número de folhas por planta	Índice de área foliar (m ² m ⁻²)	Massa seca de folha (t ha ⁻¹)
Condições edafoclimáticas (altitudes)			
Elevada	73,04 a ¹	2,85 a	1,91 a
Baixa	62,76 a	2,13 a	1,34 b
Épocas de plantio			
Outono	65,02 a ¹	3,12 a	2,17 a
Inverno	70,19 a	1,79 b	1,23 b
Primavera	68,50 a	2,56 ab	1,49 b
CV (%)	12,91	27,03	20,24

¹Médias seguidas de letras iguais, na vertical, não diferem entre si pelos testes F para condições edafoclimáticas, e Tukey para épocas de plantio, ambas em 5% de probabilidade.

Ressalta-se que a massa seca das folhas tem uma relação direta com o IAF, que não foi influenciado pela condição edafoclimática, no entanto, foi influenciado pela época de plantio, sendo observado maior IAF no plantio de outono em relação ao plantio de inverno, que não diferiu do plantio de primavera (Tabela 2). O maior ciclo de cultivo do plantio de outono em ambas as condições edafoclimáticas, além de outros fatores ambientais, pode ter influenciado para a produção de folhas maiores, visto que o número de folhas não diferiu, e dessa forma contribuiu também para o maior acúmulo de massa seca das folhas.

O IAF é um dos parâmetros fisiológicos amplamente aplicados na análise de crescimento das plantas, pois a taxa fotossintética está diretamente relacionada com o crescimento e desenvolvimento das plantas, e consequentemente com sua produtividade. Normalmente, o aparecimento de órgãos de reserva, como as raízes tuberosas, que são drenos metabólicos fortes e com grande força de mobilização de assimilados induz a uma aceleração na senescência foliar, consequentemente reduzindo o IAF (CONCEIÇÃO et al., 2005). Em ambos os plantios foi observada senescência foliar nas plantas de yacon, no entanto, com maior intensidade nos plantios em baixa altitude.

Em relação às condições edafoclimáticas de cultivo, não foram observadas diferenças de altura da planta e diâmetro do caule, no entanto, foram observados maiores número de hastes e produtividade de rizóforos nas plantas em baixa altitude (Tabela 3).

Tabela 3. Características do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

Épocas de plantio	Condições edafoclimáticas (altitudes)			
	Elevada ²		Baixa	
	Altura da planta (cm)		Diâmetro do caule (cm)	
Outono	173,06 a	203,75 a	2,13 a	2,85 a
Inverno	170,75 a	152,83 b	2,00 ab	2,33 b
Primavera	139,31 b	89,56 c	1,68 b	1,61 c
Médias ¹	161,04 A	148,71 A	1,94 A	2,26 A
CV(%)	7,99		11,06	
	Hastes por plantas		Produtividade de rizóforos (t ha ⁻¹)	
Outono	6,00 b	9,92 a	10,80 a	25,25 a
Inverno	4,69 b	6,58 b	6,11 b	18,78 b
Primavera	8,25 a	8,38 ab	7,92 ab	10,14 c
Médias ¹	6,31 B	8,29 A	8,28 B	18,06 A
CV(%)	17,11		16,53	

¹Na horizontal compara médias entre as condições edafoclimáticas para cada variável, onde as mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste F em 5% de probabilidade.

²Na vertical, as médias de épocas de plantio dentro de cada condição edafoclimática seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Observando as épocas de plantio em cada condição edafoclimática, em elevada altitude, foram notados maiores valores de altura e diâmetro do caule para o plantio de outono, que não diferiu do plantio de inverno (Tabela 3). Maior produtividade de rizóforos também foi observada no plantio de outono, que não diferiu do plantio de primavera, que por sua vez, apresentou maior número de hastes por planta (Tabela 3). Em baixa altitude, pôde-se observar valores decrescentes de altura, diâmetro do caule e produtividade de rizóforos à medida que o plantio se aproximou do verão, e dessa forma maiores valores foram observados no plantio de outono e menores no plantio de primavera. Maior número de hastes por planta também foi observado no plantio de outono, que por sua vez não diferiu do plantio de primavera.

Diante da conjuntura atual do cultivo de yacon no Espírito Santo, em que somente na região Serrana são encontrados cultivos comerciais expressivos, a aquisição de material propagativo permanece sendo uma limitação para a expansão da cultura no Estado, principalmente para os agricultores que desejam iniciar o seu cultivo. Dessa forma, o cultivo de yacon em baixa altitude ou a realização do plantio no outono, em ambas as altitudes, proporcionará maior autonomia ao agricultor em relação ao material propagativo, visto que, maiores quantidades de rizóforos e hastes, órgãos utilizados na propagação vegetativa da espécie, serão produzidos.

Nas plantas cultivadas sob as condições na baixa altitude foram observados maiores acúmulos de massa seca de caule e de rizóforo, no entanto, maiores acúmulos de massa seca de raiz tuberosa e total foram observados nas plantas em elevada altitude (Tabela 4). Esses resultados denotam que nas plantas em elevada altitude ocorre investimento preferencial na formação de raízes tuberosas em detrimento de caules e rizóforos, e o contrário ocorre nas plantas em baixa altitude, assim como verificado por National Research Council (1989) e Seminario et al., (2003).

Tabela 4. Massa seca dos órgãos e total do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

Épocas de plantio	Condições edafoclimáticas (altitudes)			
	Elevada ²	Baixa	Elevada	Baixa
	Caule (t ha ⁻¹)		Rizóforo (t ha ⁻¹)	
Outono	4,34 a	7,34 a	1,87 a	3,89 a
Inverno	2,69 b	4,99 b	1,07 a	2,63 b
Primavera	2,79 b	2,86 c	1,37 a	1,57 c
Médias ¹	3,27 B	5,06 A	1,44 B	2,70 A
CV(%)	16,59		21,63	
	Raiz tuberosa (t ha ⁻¹)		Total (t ha ⁻¹)	
Outono	9,28 a	4,91 a	17,85 a	18,11 a
Inverno	8,30 ab	3,14 b	13,55 b	11,73 b
Primavera	7,61 b	0,43 c	13,64 b	5,94 c
Médias ¹	8,40 A	2,83 B	15,01 A	11,93 B
CV(%)	16,82		14,10	

¹Na horizontal compara médias entre as condições edafoclimáticas para cada variável, onde as mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste F em 5% de probabilidade.

²Na vertical, as médias de épocas de plantio dentro de cada condição edafoclimática seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Em elevada altitude, não foram observadas diferenças entre as épocas de plantio no acúmulo de massa seca de rizóforo, no entanto, maiores acúmulos de massa seca de caule e de raiz tuberosa, e consequentemente de massa seca total, foram observados no plantio de outono, com exceção do acúmulo de massa seca de raiz tuberosa que não diferiu do plantio de inverno (Tabela 4). Em baixa altitude, novamente pôde-se observar valores decrescentes de acúmulo de massa seca de caule, rizóforo, raiz tuberosa e total à medida que o plantio se aproximou do verão, e dessa forma maiores valores foram observados no plantio de outono e menores no plantio de primavera (Tabela 4).

Em relação à produtividade de raízes tuberosas, pôde-se observar quanto ao efeito das condições edafoclimáticas, o oposto do ocorrido com a produtividade de rizóforos, visto que,

em elevada altitude foram observadas maiores produtividades de raízes tuberosas grande, média, pequena e conseqüentemente, maior produtividade total (Tabela 5). Em baixa altitude a ocorrência de podridão de raízes tuberosas foi maior do que em elevada altitude, fato que também contribuiu para a menor produtividade observada em baixa altitude. Ressalta-se que em baixa altitude a podridão de raízes apareceu de forma mais intensa em dezembro de 2013, devido às elevadas temperaturas e o excesso de umidade no solo, sendo registrados 30,8 °C de média de temperatura máxima e 482 mm de chuva nesse mês (INCAPER, 2014).

Tabela 5. Produtividade de raízes tuberosas do yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

Épocas de plantio	Condições edafoclimáticas (altitudes)			
	Elevada ²	Baixa	Elevada	Baixa
	Raiz grande (t ha ⁻¹)		Raiz média (t ha ⁻¹)	
Outono	66,94 a	30,10 a	18,41 b	24,35 a
Inverno	41,93 b	9,59 b	18,82 b	10,30 b
Primavera	14,88 c	0,00 c	34,18 a	0,00 c
Médias ¹	41,25 A	13,23 B	23,80 A	11,55 B
CV(%)	23,67		31,30	
	Raiz pequena (t ha ⁻¹)		Total (t ha ⁻¹)	
Outono	12,15 a	6,20 b	97,50 a	60,65 a
Inverno	11,57 a	9,68 a	72,31 b	29,57 b
Primavera	13,54 a	4,42 b	62,60 b	4,42 c
Médias ¹	12,42 A	6,77 B	77,47 A	31,55 B
CV(%)	13,57		10,36	

¹Na horizontal compara médias entre as condições edafoclimáticas para cada variável, onde as mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste F em 5% de probabilidade.

²Na vertical, as médias de épocas de plantio dentro de cada condição edafoclimática seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Em elevada altitude, maior produtividade de raízes grandes foi observada no plantio de outono, e dessa forma, contribuindo para que maior produtividade total também fosse observada nessa mesma época de plantio quando comparado aos plantios de inverno e primavera (Tabela 5). Em relação às raízes médias, maior produtividade foi observada no plantio de primavera, e quanto às raízes pequenas, não foi observada diferença de produtividade entre as épocas de plantio. Apesar de menor produtividade total em relação ao plantio de outono, no plantio de primavera foi observado maior produtividade de raízes médias, que são bem aceitas pelos consumidores do Espírito Santo.

Em baixa altitude, assim como para as características biométricas anteriormente discutidas, pôde-se observar valores decrescentes de produtividade de raízes grandes, médias

e total, à medida que o plantio se aproximou do verão, e dessa forma maiores valores foram observados no plantio de outono e menores no plantio de primavera, que produziu somente raízes pequenas (Tabela 5). Ressalta-se que somente para produtividade de raiz pequena foi observado maior valor no plantio de inverno.

Neste estudo, as maiores produtividades totais de raízes foram obtidas com os plantios no outono (abril), em ambas as condições estudadas ($97,50 \text{ t ha}^{-1}$ em elevada e $60,65 \text{ t ha}^{-1}$ em baixa altitude). Independente da época do plantio, as maiores produtividades foram obtidas nas condições de elevada altitude (média $77,47 \text{ t ha}^{-1}$), demonstrando o maior potencial de cultivo do yacon em locais com temperaturas mais amenas, assim como retratado pelo National Research Council (1989).

Em ambas as altitudes e épocas de plantio, com exceção do plantio de primavera em baixa altitude, as produtividades totais de raízes tuberosas se aproximam ou foram superiores daquelas reportadas pela literatura, cujos rendimentos verificados foram entre: 25 e 35 t ha^{-1} na Coreia (DOO et al., 2001), República Checa (FERNANDEZ et al., 2006) e Estados Unidos (SUMIYANTO et al., 2012); e 40 a 50 t ha^{-1} no Japão (OGISO et al., 1990), Equador (NIETO, 1991) e Peru (SEMINARIO et al., 2001), sendo que nesse último país já foram relatadas produtividade de 119 t ha^{-1} (SEMINARIO et al., 2003). Entretanto, no Brasil, Oliveira e Nishimoto (2004) obtiveram rendimentos de até 45 t ha^{-1} de raízes tuberosas na região de Botucatu - SP e Kakiyama et al. (1996) de 100 t ha^{-1} na região de Capão Bonito - SP.

O rendimento do yacon vai depender do processo de tuberização, que para ocorrer, é necessária a interação de fatores do meio e da planta, sendo influenciado pela luz, pela nutrição mineral, pela temperatura e pelos teores de reguladores de crescimento endógenos (FINGER et al., 2005). No entanto, o yacon vem sendo descrito como neutro ao fotoperíodo (VILHENA et al., 2000; OLIVEIRA e NISHIMOTO, 2004; SANTANA e CARDOSO, 2008).

Dessa forma, os resultados do presente estudo sugerem que a temperatura tenha sido o fator ambiental que mais influenciou no processo de tuberização e conseqüentemente nas produtividades encontradas. Pois, altas temperaturas inibem a formação do órgão de reserva, enquanto baixas temperaturas promovem o crescimento do mesmo (RODRÍGUEZ-FALCÓN et al., 2006). Em batata (*Solanum tuberosum*), por exemplo, a temperatura ótima de tuberização é cerca de $17 \text{ }^{\circ}\text{C}$, e temperaturas superiores a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ são inibitórias desse processo, que por sua vez parece depender de alterações nos níveis de giberelinas e inibidores endógenos (KERBAUY, 2004).

Como o desenvolvimento ótimo do yacon ocorre sob temperaturas entre 18 e 25 °C, e baixa temperatura noturna parece ser necessária para a formação adequada de raízes tuberosas (SEMINARIO et al., 2003), acredita-se que a temperatura ao longo dos ciclos de cultivo em elevada altitude e do plantio de outono em baixa altitude, tenha sido mais favorável à produção de raízes tuberosas e ao acúmulo de massa seca (Tabelas 5 e 4). Pois, ao longo do período experimental, as menores médias mensais de temperatura mínima ocorreram em agosto de 2013, sendo observado 12,6 °C em elevada altitude e 15,3 °C em baixa altitude e as maiores médias mensais de temperatura máxima foram de 30,7 e 35,1 °C, respectivamente, ambas em fevereiro de 2014 (Figura 1). Além disso, em baixa altitude foram verificadas diferenças de no mínimo 3 °C para temperatura máxima e 2,5 °C para temperatura mínima acima daquela observada em elevada altitude.

Dessa forma, as elevadas temperaturas observadas ao longo do ciclo de cultivo do plantio de primavera em baixa altitude, principalmente em janeiro e fevereiro de 2014 (Figura 1), prejudicaram o crescimento e o desenvolvimento das plantas, que conseqüentemente produziram menor quantidade de raízes tuberosas, inclusive com padrão inferior, sendo somente raízes pequenas, além de terem acumulado menos massa seca em relação aos outros plantios (Tabelas 5 e 4).

Ressalta-se que o maior nível de fertilidade do solo, principalmente fósforo e potássio, das condições da elevada altitude (Tabela 1), também pode ter influenciado para que maiores valores de massa seca de folha, raiz tuberosa e total, além de produtividade de raízes tuberosas, fossem observados nas plantas em elevada altitude quando comparado com as plantas em baixa altitude (Tabelas 2, 4 e 5). Pois, de acordo com FERNANDEZ et al. (2006) e SEMINARIO et al. (2003), o rendimento de raízes tuberosas, além de seu tamanho, forma e peso individual é afetado por material genético, densidade de plantio, umidade e fertilidade do solo, principalmente nitrogênio e potássio.

CONCLUSÃO

O cultivo de yacon em elevada altitude promove maior produtividade de raízes tuberosas e maior acúmulo de massa seca de folhas, enquanto que nas condições da baixa altitude, promove maior número de hastes, acúmulo de massa seca de caule e produtividade de rizóforos.

De forma geral o plantio de yacon realizado no outono, ocorrido no mês de abril, em ambas as condições edafoclimáticas, promove maior crescimento vegetativo, com plantas mais altas e com maiores diâmetro do caule, índice de área foliar e acúmulo de massa seca de

folha, caule, rizóforo, raiz tuberosa e total, além de maiores produtividades de raízes tuberosas e rizóforos.

AGRADECIMENTOS

A Capes pela bolsa de doutorado. Ao CNPq e FAPES, pelo auxílio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E.N.; ROLIM, P.M. Potencialidades do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) no diabetes *Mellitus*. **Revista Ciências Médicas**, v.20, n.3-4, p.99-108, 2011.

BONET, M. E. B.; MESON, O.; LEBLANK, A. M.; DOGI, C. A.; CHAVES, S.; KORTSARZ, A.; GRAU, A.; PERDIGÓN, G. Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model. **Food and Agricultural Immunology**, v.21, n. 2, p. 175-189, jun. 2010.

BORGES, J.T.S; PIROZI, M.R.; PAULA, C.D. de; VIDIGAL, J.G.; SILVA, N.A.S.; CALIMAN, F.R.B. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. **Scientia Amazonia**, v. 1, n.3, p. 3-16, 2012.

CAMPOS, D; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, p. 1592–1599, 2012.

CONCEIÇÃO, M.K.; LOPES, N.F.; FORTES, G.R.L. Análise de crescimento de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) lam) cultivares abóbora e da costa. **Revista Brasileira de Agrociência**, 11: 273-278, 2005.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: UFV, 2006. 382p.

DELGADO, G.T.C.; THOMÉ, R.; GABRIEL, D.L.; TAMASHIRO, W.M.S.C; PASTORE, G.M. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse. **Nutrition Research**, v.32, p.884-892, 2012.

DOO, H.S.; RYU, J.H.; LEE, K.S.; CHOI, S.Y. Effect of plant density on growth responses and yield in yacon. **Korean Journal of Crop Science**, 46: 407-410, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERNANDEZ, E.C.; VIEHMANNOVA, I.; LACHMAN, J.; MILELLA, L. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poeppig & Endlicher) H. Robinson]: a new crop in the Central Europe. **Plant Soil Environ**, 52: 564–570, 2006.

FINGER, F.L.; FONTES, P.C.R.; PAUIATTI, M. Dormência e tuberização. In: FONTES PCR (Ed.). **Olericultura teoria e prática**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, MG, 2005. p. 31-38.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S.S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, n. 2, p. 182–187, 2009.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M.; MERCADO, M.I.; GRAU, A.; CATALÁN, C.A.; SÁNCHEZ, S.S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: constituents of the most active fractions. **Chemico-Biological Interactions**, 185: 143–152, 2010.

GEYER, M.; MANRIQUE, I.; DEGEN, L.; BEGLINGER, C. Effect of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on Colonic Transit Time in Healthy Volunteers. **Digestion**, v. 78, p.30-33, 2008.

HABIB, N. C.; HONORÉ, S. M.; GENTA, S. B.; SÁNCHEZ, S. S. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, p. 31-39, 2011.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=bol>> Acesso em 20 dez. 2014.

KAKIHARA, T.S.; CÂMARA, F.L.A.; VILHENA, S.M.C.; RIERA, L. Cultivo e industrialização de yacon (*Polymnia sonchifolia*): uma experiência brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE RAÍZES TROPICAIS 1 e CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA 9, São Pedro. **Anais...** Botucatu: Centro de Raízes Tropicais, sociedade Brasileira de Mandioca, 1996. s.p.(resumo 148). 1996.

KEENAN, D.F.; BRUNTON, N.; BUTLER, F.; WOUTERS, R.; GORMLEY, R. Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purees enriched with prebiotic inclusions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2011.

KERBAUY, G. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. 452p.

LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETTI, T. M. C. C. Effects of fructans containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, n. 4, p. 776-785, 2007.

LOBO, A.R.; COCATO, M.L.; BORELLI, P.; GAIEVSKI, E.H.S.; CRISMA, A.R.; NAKAJIMA, K.; NAKANO, E.Y.; COLLI, C. Iron bioavailability from ferric pyrophosphate in rats fed with fructan containing yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Food Chemistry**, v.126, p.885-891, 2011.

MANRIQUE, I.; PÁRRAGA, A.; HERMANN, M. **Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)**. Lima: International Potato Center, 2005. 40p.

MOURA, N.A. de; CAETANO, B.F.R.; SIVIERI, K.; URBANO, L.H.; CABELLO, C.; RODRIGUES, M.A.M.; BARBISAN, L.F. Protective effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, 50: 2902-2910, 2012.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Lost crops of the incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation**. Washington: Academy Press, 1989. 415 p.

NIETO, C.C. Estudios agronomicos y bromatológicos em “jicama” (*Polymnia sonchifolia* Polp. Endl.). **Arch. Latinoam. de Nutr.** 41: 213-21, 1991.

OGISO, M.; NAITO, H.; KURASIMA, H. Planting density, harvesting time and storage temperature of Yercum. **Research Bulletin of the Aichi Ken Agricultural Research Center** 22: 161-164, 1990.

OLIVEIRA, G.O.; BRAGA, C.P.; FERNANDES, A.A.H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Chemical Toxicology**, v.59, p.256-260, 2013.

OLIVEIRA, M.A.; NISHIMOTO, E.K. Avaliação do desenvolvimento de plantas de yacon (*Polymnia sonchifolia*) e caracterização dos carboidratos de reservas em HPLC. **Brazilian Journal of Food Technology**, 7: 215-220, 2004.

RODRÍGUEZ-FALCÓN, M.; BOU, J.; PRAT, S. Seasonal control of tuberization in potato: conserved elements with the flowering response. **Annu Rev Plant Biol**, 57: 151–180, 2006.

SANTANA, I.; CARDOSO, M.H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, 38: 898-905, 2008.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; HONORIO, H. Propagación por esquejes de tres morfotipos de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson. **Agronomía**, XLVII: 12-20, 2001.

SEMINARIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE, I. **El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio**. Lima, Peru: Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), 2003. 60p.

SOLEIMANI, N.; HOSEINIFAR, S.H.; MERRIFIELD, D.L.; BARATI, M.; ABADI, Z.H. Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, n. 2, p. 316-321, 2012.

SUMIYANTO, J.; DAYAN, F.E.; CERDEIRA, A.L.; WANG, Y.H.; KHAN, I.A.; MORAES, R.M. Oligofructans content and yield of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) cultivated in Mississippi. **Scientia Horticulturae**, 148: 83–88, 2012.

TOSTES, M.G.V.; VIANA, M.L.; GRANCIERI, M.; LUZ, T.C.S.; PAULA, H.; PEDROSA

R.G.; COSTA, N.M.B. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v.9142, p.666- 672, 2014.

VIGNALE, N.D.; GURNI, A.A. Identificación micrográfica de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Acta Farmaceutica Bonaerense**, v. 24, p. 96-98, 2005.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, S.T. O cultivo de yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, 18: 5-8, 2000.

YASUDA, A.; INOUE, K.; SANBONGI, C.; YANAGISAWA, R.; ICHINOSE, T.; TANAKA, M.; YOSHIKAWA, T.; TAKANO, H. Dietary supplementation with fructooligosaccharides attenuates allergic peritonitis in mice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 422, p. 546–550, 2012.

ARTIGO CIENTÍFICO III

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE RAÍZES TUBEROSAS DE YACON PRODUZIDAS NO SUL DO ESPÍRITO SANTO EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS E ÉPOCAS DE PLANTIO

RESUMO

O yacon tem sido descrito como o alimento funcional, principalmente em função do conteúdo de frutooligossacarídeos, o que tem estimulado o seu consumo de forma geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social e agrícola. Assim, objetivou-se com o presente trabalho realizar a caracterização físico-química de raízes tuberosas de yacon produzidas no Sul do Espírito Santo em duas condições edafoclimáticas em diferentes épocas de plantio. O experimento foi conduzido em elevada (837 m) e baixa (113 m) altitude, sendo o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, e os tratamentos constituídos por quatro épocas de plantio: outono, inverno, primavera e verão. Por ocasião da colheita das raízes tuberosas foram avaliados: cor, perfil de textura, pH, teores de acidez total titulável, umidade, sólidos solúveis, glicídios redutores, fibra bruta e cinzas. As características físico-químicas das raízes tuberosas de yacon variaram de acordo com as condições edafoclimáticas de cultivo e as épocas de plantio. As raízes tuberosas produzidas em elevada altitude apresentaram características físico-químicas mais desejáveis em relação à baixa altitude, com destaque para o plantio de primavera devido aos elevados teores de sólidos solúveis. No entanto, em baixa altitude, os plantios de outono e inverno proporcionaram características físico-químicas mais desejáveis de raízes tuberosas.

Palavras-chave: *Smallanthus sonchifolius*, composição, cor, textura.

ABSTRACT

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF TUBEROUS ROOTS OF YACON PRODUCED IN SOUTHERN ESPÍRITO SANTO, BRAZIL, IN TWO CLIMATE AND SOIL CONDITIONS AND PLANTING DATES

The yacon has been described as the functional food, mainly due to the fructooligosaccharides content, which have stimulated its consumption in general, representing a new product to be explored and applied in social and farm levels. Thus, the objective of this study was characterize chemically-physical tuberous roots of yacon produced in the Southern Espírito Santo, Brazil, in two soil and climatic conditions in different planting dates. The experiment was conducted on high (837 m) and low (113 m) altitude, and the experimental design of randomized blocks with four replications, and the treatments consisted of four planting dates: fall, winter, spring and summer. At harvest of tuberous roots were evaluated: color, texture profile, pH, total acidity content, moisture, soluble solids, reducing carbohydrates, crude fiber and ashes. Physicochemical characteristics of the tuberous roots of yacon varied according to soil and climatic conditions of cultivation and planting dates. The tuberous roots produced at high altitude had physicochemical characteristics most desirable compared to low altitude, especially for spring planting due to the high content of soluble solids. However, at low altitude, the fall and winter plantings provided physicochemical characteristics most desirable of tuberous roots.

Keywords: *Smallanthus sonchifolius*, composition, color, texture.

INTRODUÇÃO

Os problemas inerentes à saúde humana têm sido alvo de discussão por muitos anos e, em conjunto a esses problemas, também se tem discutido o potencial protetor da saúde relacionado a alimentos e nutrientes (FREITAS e JACKIX, 2005). Nos últimos anos tem-se atribuído aos alimentos, além das funções de nutrição e de prover apelo sensorial, uma terceira função relacionada à resposta fisiológica específica produzida por alguns alimentos, que são chamados de alimentos funcionais (ZERAİK *et al.*, 2010).

Os alimentos funcionais podem ser definidos como aqueles que proporcionam benefícios para a saúde além da nutrição básica, incluindo os alimentos fortificados, enriquecidos ou melhorados que têm efeito potencialmente benéfico para a saúde, quando consumido como parte de uma dieta variada, em uma base regular em níveis eficazes (HASLER, 2000). Dessa forma, a Organização Mundial da Saúde refere-se a uma gama de espécies vegetais a partir das quais produtos de interesse terapêutico podem ser obtidos e usados com benefícios para a saúde humana (WORLD HEALTH ORGANIZATION-WHO-, 2004).

O yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma dessas plantas que vêm sendo estudadas para auxiliar na prevenção e no tratamento de algumas doenças e, atualmente, tem sido descrito como o alimento funcional com maior conteúdo de frutooligossacarídeos (FOS) na natureza (SANTANA e CARDOSO, 2008). Vários benefícios do consumo de yacon têm sido atribuídos ao seu conteúdo de FOS como efeito imunoestimulatório (BONET *et al.*, 2010; DELGADO *et al.*, 2012; YASUDA *et al.*, 2012; TOSTES *et al.*, 2014), prebiótico (KEENAN *et al.*, 2011; SOLEIMANI *et al.*, 2012; CAMPOS *et al.*, 2012) e protetor contra câncer de cólon (MOURA *et al.*, 2012), além de ter papel na redução de lipídios séricos (HABIB *et al.*, 2011), no balanço e na absorção do cálcio (LOBO *et al.*, 2007), na regularização intestinal (GEYER *et al.*, 2008; GENTA *et al.*, 2009; ALBUQUERQUE & ROLIM, 2011; LOBO *et al.*, 2011) e na modulação da insulinemia de jejum (GENTA *et al.*, 2009). Seu consumo também tem proporcionado efeitos medicinais no controle de doenças crônicas envolvendo diabetes (GENTA *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2013); controle de pressão arterial e dos níveis de colesterol (VIGNALE e GURNI, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Além do FOS, outros componentes principais das raízes tuberosas de yacon são água e outros carboidratos. O teor de água das raízes varia de 83-90%, o que o caracteriza como alimento altamente perecível e de baixo valor calórico (1,0-1,5 kcal/g). Os minerais presentes são cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro e, principalmente, potássio. Ela possui níveis

relativamente baixos de proteínas, lipídios e vitaminas (SANTANA e CARDOSO, 2008); também contém compostos fenólicos, flavonoides e outras substâncias antioxidantes (ARNAO et al., 2011; CASTRO et al., 2012).

Segundo Santana e Cardoso (2008), a proporção de cada açúcar presente nas raízes de yacon, pode variar de acordo com as condições de cultivo, da época de colheita e forma de armazenamento, no entanto, em média encontra-se a seguinte composição em base seca: 40 a 70% de FOS, 5 a 15% de sacarose, 5 a 15% de frutose e menos de 5% de glicose.

Todas essas características da planta e da raiz, principalmente quanto à atividade prebiótica, têm estimulado o seu consumo de forma geral, representando um novo produto a ser explorado e aplicado em níveis social, agrícola, tecnológico e científico (BORGES et al., 2012; GUSSO et al., 2015).

No entanto, no Brasil as áreas de cultivo se restringem a poucas localidades e as informações sobre seu manejo e as interferências edafoclimáticas sobre a qualidade das raízes tuberosas ainda são escassas, em particular para as condições do Espírito Santo são praticamente inexistentes.

Face ao exposto, objetivou-se com o presente trabalho realizar a caracterização físico-química de raízes tuberosas de yacon produzidas no Sul do Espírito Santo em duas condições edafoclimáticas em diferentes épocas de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em duas condições edafoclimáticas na região Sul do Espírito Santo, no período de abril de 2013 a abril de 2014: em Ibatiba/ES, a 20° 17' de latitude Sul e 41° 37' de longitude Oeste e altitude de 837 m (elevada altitude), e em Alegre/ES, a 20° 45' de latitude Sul e 41° 29' de longitude Oeste e altitude de 113 m (baixa altitude).

Em cada condição edafoclimática, o experimento foi montado obedecendo ao delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por quatro épocas de plantio realizadas em 2013: outono (abril), inverno (julho) e primavera (setembro) e verão (dezembro).

A unidade experimental foi constituída de cinco linhas de plantio de 4 m, espaçadas de 1,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 8 plantas de yacon por linha de plantio. No entanto, somente dez plantas colhidas nas três linhas centrais, com exceção das bordaduras, foram utilizadas para a coleta de dados, ou seja, somente dez plantas centrais de cada parcela representaram a área útil.

O solo foi preparado por meio de aração a 30 cm seguida de gradagem. O plantio foi realizado em sulcos utilizando-se rizóforos de aproximadamente 35 g a uma profundidade de 10 cm, obedecendo ao espaçamento desejado. Foram colocados 180 g de esterco bovino curtido por planta. O esterco bovino continha os seguintes nutrientes: 14,21 g kg⁻¹ de N; 4,75 g kg⁻¹ de P; 5,28 g kg⁻¹ de K; 4,29 g kg⁻¹ de Ca e 1,92 g kg⁻¹ de Mg. Ao longo do ciclo de cultivo foi realizado controle de plantas espontâneas e irrigação por aspersão convencional aplicando-se 30 mm de lâmina d'água semanais.

O solo, de ambos os locais, foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média (EMBRAPA, 2006), cuja amostra foi submetida ao Laboratório de Solos do CCA/UFES para análises química e física (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos da camada de 0 a 20 cm do solo em elevada (Ibatiba/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/2014.

Atributos do solo	Altitudes	
	Elevada	Baixa
pH (água)	6,20	6,37
Fósforo Mehlich 1 (mg dm ⁻³)	53,99	36,99
Potássio (mg dm ⁻³)	80,00	57,00
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,12	1,50
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	0,87	0,71
Alumínio (cmol _c dm ⁻³)	0,0	0,0
Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)	3,24	2,36
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	3,24	2,36
Saturação por bases (%)	64,10	64,09
Carbono orgânico total (%)	1,83	1,08
Nitrogênio total (%)	0,15	0,10
Areia (%)	68	60
Silte (%)	4	5
Argila (%)	28	35

As médias mensais de temperatura máxima e mínima estão representadas na Figura 1 e foram obtidas através de estações meteorológicas automáticas mais próximas do experimento, sendo do INMET em Alegre/ES (20,751° de latitude Sul, 41,489° de longitude Oeste e 138 m de altitude) e do INCAPER em Iúna/ES (20,357° de latitude Sul, 41,557° de longitude Oeste e 758 m de altitude).

Em momento de pleno florescimento das plantas, acima de 80 % do estande, foi realizada a colheita, que ocorreu, em elevada altitude, aos 270 dias após o plantio (DAP) de outono (em janeiro de 2014), aos 240 DAP de inverno e aos 180 DAP de primavera (ambos em março de 2014), e em baixa altitude, aos 240 DAP de outono (em dezembro de 2013), aos 180 DAP de inverno (em janeiro de 2014) e aos 210 DAP de primavera (em abril de 2014).

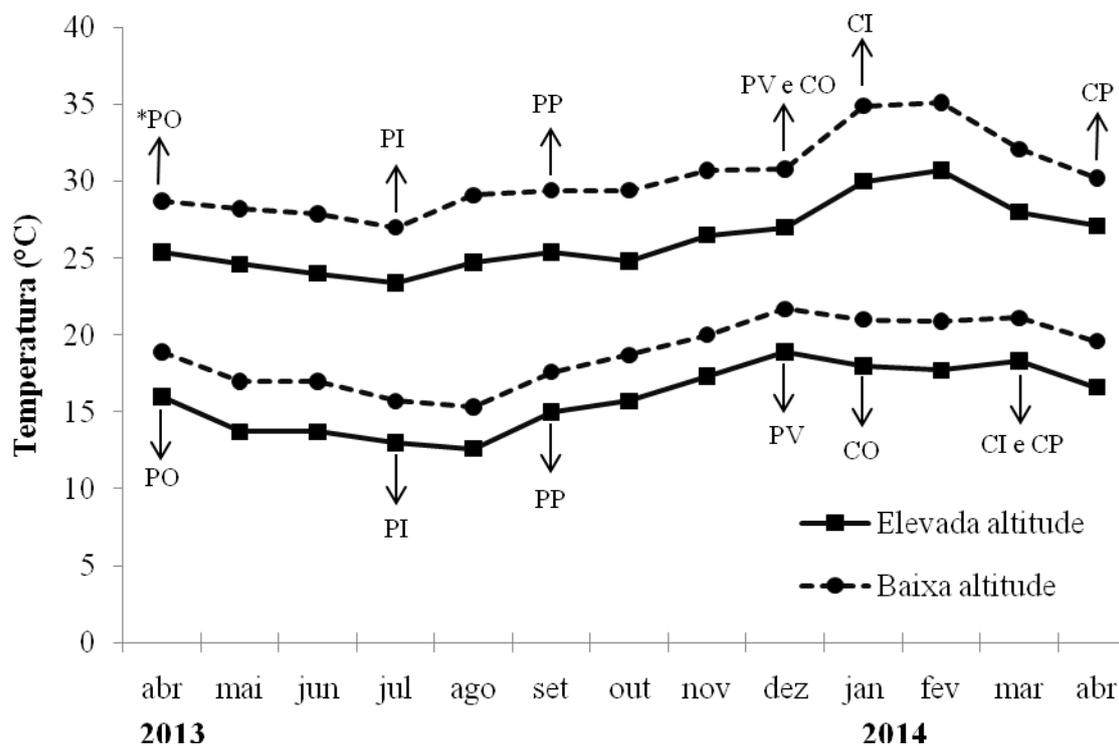


Figura 1. Médias mensais de temperatura, máxima e mínima, observadas no período de abril de 2013 a abril de 2014, em elevada (Iúna/ES) e baixa (Alegre/ES) altitude na região Sul do Espírito Santo. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14. Fonte: Incaper (2014).

*PO (plantio de outono); PI (plantio de inverno); PP (plantio de primavera); PV (plantio de verão); CO (colheita do plantio de outono); CI (colheita do plantio de inverno); e CP (colheita do plantio de primavera).

As raízes tuberosas colhidas foram enviadas ao Laboratório de Química de Alimentos do CCA/UFES. As raízes foram lavadas em água corrente e, com o auxílio de uma faca inox, foram retiradas as porções inadequadas, apodrecidas ou escurecidas. Posteriormente, as raízes foram imersas em solução 200 ppm de cloro residual livre por 10 minutos para a sanitização.

Em seguida, parte das raízes tuberosas foi descascada, cortada em fatias, e introduzida em extrator de sucos (Black & Decker Excellence). Após a extração, o suco foi filtrado e realizaram-se as seguintes análises: cor, pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e glicídios redutores (Instituto Adolfo Lutz, 2008). O resultado de acidez foi expresso em porcentagem de ácido málico da amostra que é predominante em yacon (RIBEIRO, 2008).

Foram determinadas as coordenadas de cor do sistema CIELAB, utilizando as coordenadas de cor L*, a* e b*, em que L* se refere aos valores de luminosidade (0 = preto e 100 = branco), a* indica a região do vermelho (+a) ao verde (-a) e b* indica a região do amarelo (+b) e azul (-b). Além disso, foram calculadas as coordenadas tonalidade (h*), que representam as diferentes cores existentes; croma (C*), que corresponde ao grau de pureza de

uma cor em relação à mistura com a cor cinza, de acordo com as equações abaixo (HUNTERLAB, 2000).

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

$$C^* = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})}$$

Em que:

h^* : coordenada qualitativa relacionada ao comprimento de onda para cores espectrais, que é utilizado para expressar a diferença entre vermelho e azul, violeta e amarelo etc. Corresponde à tonalidade de cor;

C^* : coordenada polar Croma, quantificação cromática. Corresponde ao grau de saturação da cor.

Nessas determinações foi utilizado um colorímetro espectrofotométrico de reflectância e transmitância da marca Konica-Minalta CM-5. O pH foi determinado utilizando um pHmetro de bancada (Ion pHB500) e o teor de sólidos solúveis foi determinado em refratômetro digital de bancada (Atago Abber DR-A1).

O teor de umidade e de cinzas foi determinado com a raiz tuberosa *in natura* (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008), sendo este último determinado por incineração em mufla (STecno 115) a 550 °C. Posteriormente, o material seco obtido na determinação da umidade foi triturado e o teor de fibra bruta foi determinado conforme o método 18 da AOCS (2003), utilizando digestor de fibras Marconi MA-444/CI.

A textura nas raízes tuberosas de yacon, *in natura*, foi determinada utilizando-se o texturômetro CT3 Texture Analyzer da Brookfield. A coleta de dados foi realizada por meio do programa computacional TexturePro CT v1.4 build 17(Windows NT 6.1 – Build 7601: Service Parck1). O aparelho foi programado para medir de forma direta os atributos de textura: dureza, adesividade, fraturabilidade, coesividade, índice de elasticidade, gomosidade e índice de mastigabilidade. Para essa análise foi utilizado a ponta de prova (sonda) TA 39 (2 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento). As amostras de raízes tuberosas de yacon foram previamente selecionadas em tamanhos padronizados de 5 cm de diâmetro e cortadas em 5 cm de espessura. Os parâmetros utilizados foram: velocidade de pré-teste = 2,0 mm/s; velocidade de teste = 2,0 mm/s; velocidade de pós-teste = 2,0 mm/s; e distância = 5 mm.

Todas as determinações foram realizadas em três replicatas para cada unidade experimental, com exceção de fibra bruta, que foram duas replicatas, e as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico Genes (CRUZ, 2006). Os dados foram submetidos à análise de variância conjunta, envolvendo as duas condições edafoclimáticas, pelo teste F em 5% de probabilidade, e a comparação das médias pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambas as condições edafoclimáticas, tanto em elevada quanto em baixa altitude, no plantio de verão não houve emergência e desenvolvimento satisfatórios de brotos de yacon, visto que, as elevadas temperaturas (Figura 1), promoveram desidratação dos propágulos (rizóforos) no solo, além de mortalidade dos brotos recém-emergidos. Dessa forma, o tratamento referente à época de plantio, verão, foi excluído do experimento, e procedeu-se a análise de variância conjunta com os outros três tratamentos: plantios de outono, inverno e primavera. Diante do ocorrido, pode-se afirmar que o plantio de yacon no verão no Sul do Espírito Santo necessita de mais estudos sobre o manejo adequado para o cultivo nessas condições.

A análise de variância conjunta revelou que a maioria das características físico-químicas das raízes tuberosas de yacon avaliadas foi influenciada pelas condições edafoclimáticas (altitudes) e/ou épocas de plantio, com exceção de pH e das coordenadas de cor b^* e C^* . A interação entre as condições edafoclimáticas (altitudes) e épocas de plantio foi significativa para boa parte das características avaliadas, com exceção de acidez, umidade e índice de elasticidade, além das características já citadas anteriormente, denotando que a influência de cada fator ocorreu de forma independente para essas variáveis, sendo apresentadas assim na Tabela 2.

O pH e as coordenadas de cor b^* e C^* não foram influenciados pelas condições edafoclimáticas (altitudes) nem pelas épocas de plantio, ao contrário da umidade e do índice de elasticidade que foram influenciados tanto pelas condições edafoclimáticas (altitudes), quanto pelas épocas de plantio (Tabela 2). Em relação às condições edafoclimáticas, foi observado maior teor de umidade nas raízes em baixa altitude e maior índice de elasticidade em elevada altitude. Quanto às épocas de plantio, maior teor de umidade foi observado nas raízes do plantio de outono, e maior índice de elasticidade, no plantio de primavera, que foi semelhante ao plantio de outono. Esse índice refere-se à velocidade com a qual o material

deformado volta ao seu estado inicial após remoção da força que o deformou. Já a acidez foi influenciada somente pela altitude, sendo observado maior valor nas raízes em baixa altitude.

Tabela 2. Características físico-químicas de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

	pH	Acidez ² (%)	Umidade (%, bu)	b* ³	C* ⁴	Índice de elasticidade
Condições edafoclimáticas (altitudes)						
Elevada	6,78 a ¹	0,071 b	88,96 b	42,88 a	42,99 a	0,76 a
Baixa	6,66 a	0,088 a	90,40 a	38,72 a	39,03 a	0,53 b
Épocas de plantio						
Outono	6,83 a ¹	0,076 a	91,21 a	41,90 a	42,26 a	0,64 ab
Inverno	6,76 a	0,076 a	88,86 b	44,07 a	44,27 a	0,56 b
Primavera	6,57 a	0,086 a	88,97 b	36,43 a	36,50 a	0,74 a
CV (%)	4,05	9,49	0,73	10,35	10,30	11,13

¹Médias seguidas de letras iguais, na vertical, não diferem entre si pelos testes F para condições edafoclimáticas, e Tukey para épocas de plantio, ambas em 5% de probabilidade.

²Acidez expressa em % de ácido málico.

³Coordenada de cor b*.

⁴Coordenada de cor C*.

Os valores de pH do suco variaram entre 6,57 e 6,83 (Tabela 2), e foram compatíveis com Prati et al., (2009), Baioco (2013) e Castro et al. (2013), que encontraram valores de pH entre 6,0 e 6,89. Entretanto, Gibertoni et al. (2006), encontraram um valor de pH inferior, entre 5,09 e 5,23, para sucos de yacon empregados na elaboração de xarope. Em função desses valores elevados de pH, valores baixos de acidez total titulável do suco extraído das raízes foram observados, entre 0,071 e 0,088% (Tabela 2). Esses valores foram semelhantes aos encontrados por Prati et al. (2009), de 0,05%, no entanto foram inferiores aos de Ribeiro (2008) e Michels (2005), que verificaram 0,44%, e 0,61% de acidez, respectivamente.

Os valores de umidade das raízes tuberosas de yacon *in natura* variaram entre 88,86 e 91,21% (Tabela 2), e foram semelhantes aos encontrados por Michels (2005) e Kotovicz (2011), no entanto, foram maiores do que a umidade observada por Prati et al. (2009), que foi de 80,70%. Normalmente este teor pode variar de 80 a 90% na raiz *in natura*, contribuindo positivamente para seu baixo valor energético. Por outro lado, reduz significativamente sua vida de prateleira em condições não refrigeradas, pois seus tecidos internos são delicados, podendo romper-se facilmente durante a colheita, a embalagem e o transporte (SANTANA e CARDOSO, 2008; SCHER et al., 2009).

Na determinação da cor, o parâmetro L^* indica a luminosidade e se refere à capacidade do produto em refletir ou transmitir luz, variando em uma escala de zero a 100. Quanto maior o valor de L^* , mais claro o produto. O parâmetro a^* refere-se à contribuição das cores verde(-)/vermelho(+), o parâmetro b^* às cores azul(-) /amarelo(+), o parâmetro h^* representa as diferentes cores existentes (corresponde à tonalidade de cor) e o parâmetro C^* refere-se ao grau de pureza de uma cor em relação à mistura com a cor cinza (corresponde ao grau de saturação da cor).

Em geral, as amostras apresentaram moderada luminosidade (L^*), com a predominância da componente amarela (b^*) sobre a componente vermelha (a^*), cuja contribuição na cor foi muito pequena com valores muito baixos, indicando a cor amarelada do suco extraído, assim como da polpa das raízes tuberosas, inclusive com valores elevados de tonalidade (h^*) e valores moderados de croma (C^*) (Tabelas 2 e 3).

Tabela 3. Coordenadas L^* , a^* e h^* da escala de cor avaliadas do suco extraído de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

Épocas de plantio	Condições edafoclimáticas (altitudes)					
	Elevada ²		Baixa		Elevada	
	L^*		a^*		h^*	
Outono	40,24 a	36,64 a	2,93 a	7,17 a	85,92 a	80,31 c
Inverno	43,38 a	39,29 a	2,94 a	5,05 b	86,33 a	83,21 b
Primavera	43,78 a	24,64 b	3,22 a	0,99 c	85,56 a	88,23 a
Médias ¹	42,46 A	33,53 B	3,03 B	4,40 A	85,94 A	83,92 B
CV(%)	8,94		18,04		1,10	

¹Na horizontal compara médias entre as condições edafoclimáticas para cada variável, onde as mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste F em 5% de probabilidade.

²Na vertical, as médias de épocas de plantio dentro de cada condição edafoclimática seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Em relação às condições edafoclimáticas de cultivo, foram observados maiores valores das coordenadas L^* e h^* do suco extraído das raízes tuberosas das plantas em elevada altitude (Tabela 3), denotando um suco mais claro e com maior tonalidade de amarelo. Porém, o contrário ocorreu para a coordenada a^* positivo, que representa a intensidade da cor vermelha, onde maiores valores foram observados nas plantas em baixa altitude (Tabela 3), denotando maior influência da cor vermelha no suco das raízes produzidas em baixa altitude. Diante desses resultados, possivelmente o suco extraído, assim como as próprias raízes tuberosas produzidas em elevada altitude tenham maior aceitação de mercado do que as produzidas em baixa altitude, visto que, as raízes mais claras e com maior tonalidade de cor

predominante (amarela) dos plantios em elevada altitude contribuem para uma melhor aparência do produto.

Para as épocas de plantio em cada condição edafoclimática, em elevada altitude não foram observadas diferenças nos valores dessas três coordenadas de cor, denotando semelhança de cor do suco extraído das raízes. No entanto, em baixa altitude foram observadas diferenças (Tabela 3). Em baixa altitude, menor valor da coordenada L^* foi observado no plantio de primavera, denotando um suco, e conseqüentemente, raízes mais escuras, enquanto valores semelhantes foram observados nos plantios de outono e inverno. Para a coordenada a^* , valores decrescentes foram observados à medida que o plantio se aproximou do verão, e dessa forma, maiores valores ocorreram no plantio de outono e menores no plantio de primavera, o que confere menor influência da cor vermelha nas raízes do plantio de primavera. No entanto, para a coordenada h^* , ocorreu o contrário, visto que, valores crescentes foram observados à medida que o plantio se aproximou do verão, e dessa forma, menores valores ocorreram no plantio de outono e maiores no plantio de primavera, o que confere maior tonalidade de cor predominante às raízes desse último.

Os resultados sugerem que as raízes tuberosas produzidas em elevada altitude, independente da época de plantio, apresentam cor de polpa, e conseqüentemente aparências semelhantes, e dessa forma, a mesma aceitação de mercado em relação a essa característica. No entanto, em baixa altitude, pode ser que as raízes tuberosas dos plantios de outono e inverno tenham maior aceitação de mercado, visto que, apesar da menor tonalidade (coordenada h^*) da cor predominante (amarela), foram observadas raízes mais claras e mais avermelhadas, fato que contribui para uma melhor aparência do produto.

Os valores das coordenadas de cor b^* e C^* do suco extraído das raízes de yacon variaram entre 36,43 a 44,07, e 36,50 a 44,27, respectivamente (Tabela 2). Esses valores foram superiores aos encontrados por Baioco (2013), que foi de 26,02 para a coordenada de cor b^* e 26,74 para C^* . Já os valores das coordenadas de cor L^* , a^* e h^* do suco extraído das raízes de yacon variaram entre 24,64 a 43,78, 0,99 a 7,15 e 80,31 a 88,23, respectivamente (Tabela 3). Enquanto os valores de L^* e h^* também foram superiores aos encontrados por Baioco (2013), que foram de 21,54 e 76,74, respectivamente, os valores de a^* foram semelhantes, onde essa autora verificou valor de 6,14. No entanto, valor semelhante de L^* e valores inferiores de a^* e b^* foram verificados por Gonçalves (2010), sendo de 31,67, -1,06 e 1,43 respectivamente.

Em relação aos teores de glicídios redutores e fibra bruta, não foram observadas diferenças em função das condições edafoclimáticas de cultivo, no entanto, foram observados

maiores teores de sólidos solúveis nas raízes tuberosas das plantas em elevada altitude, e para o teor de cinzas ocorreu o contrário, sendo observados maiores valores em baixa altitude (Tabela 4). Sabe-se que quanto maior a temperatura, maior será a atividade respiratória das células e a transpiração da cultura, e sendo assim, maior consumo de carboidratos para a manutenção da respiração e maior absorção de minerais por fluxo de massa ocorreram nas raízes tuberosas produzidas em baixa altitude, justificando o menor teor de sólidos solúveis e o maior teor de cinzas observado.

Tabela 4. Características químicas de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

Épocas de plantio	Condições edafoclimáticas (altitudes)			
	Elevada ²	Baixa	Elevada	Baixa
	Sólidos solúveis (°Brix)		Glicídios redutores (% m/m)	
Outono	12,30 b	8,58 c	4,84 a	3,43 b
Inverno	11,33 c	9,25 b	4,16 b	5,36 a
Primavera	13,60 a	11,65 a	4,91 a	4,89 a
Médias ¹	12,41 A	9,83 B	4,64 A	4,56 A
CV(%)	2,34		7,91	
	Fibra bruta (% bs)		Cinzas (% bu)	
Outono	28,49 a	21,30 b	0,25 a	0,36 b
Inverno	19,68 b	25,68 a	0,16 b	0,35 b
Primavera	19,20 b	13,38 c	0,23 a	0,55 a
Médias ¹	22,46 A	20,12 A	0,21 B	0,42 A
CV(%)	8,99		8,54	

¹Na horizontal compara médias entre as condições edafoclimáticas para cada variável, onde as mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste F em 5% de probabilidade.

²Na vertical, as médias de épocas de plantio dentro de cada condição edafoclimática seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Observando as épocas de plantio em cada condição edafoclimática, em elevada altitude o maior teor de sólidos solúveis foi encontrado nas raízes do plantio de primavera, seguido pelo de outono, e por sua vez, pelo de inverno, onde também foram observados os menores teores de glicídios redutores e cinzas, no entanto, para esses dois parâmetros resultados semelhantes foram observados entre os plantios de outono e primavera (Tabela 4). Em relação à fibra bruta, maior teor foi observado nas raízes do plantio de outono, e resultados semelhantes foram observados entre as raízes dos plantios de inverno e primavera.

Em baixa altitude, o maior teor de sólidos solúveis foi observado também nas raízes do plantio de primavera, porém, seguido pelo de inverno, e por sua vez, seguido pelo de outono, que também apresentou o menor teor de glicídios redutores, no entanto, não foi

observada diferença desse parâmetro entre as raízes dos plantios de inverno e primavera (Tabela 4). Maior teor de fibra bruta foi observado nas raízes do plantio de inverno, seguido pelo de outono, e por sua vez, pelo de primavera, que ao contrário de fibra bruta, apresentou o maior teor de cinzas em função da maior absorção de minerais por fluxo de massa devido à maior transpiração do yacon durante esse ciclo de cultivo, já que resultados semelhantes foram observados entre as raízes dos plantios de outono e inverno.

Esses resultados sugerem que as raízes produzidas nas condições edafoclimáticas de elevada altitude, principalmente com plantio na primavera, podem apresentar maior aceitação de mercado *in natura* pela doçura, visto que, maiores teores de sólidos solúveis foram verificados (Tabela 4). Além disso, essas raízes podem apresentar também maiores teores de frutanos, que são os carboidratos de interesse tanto para o consumo *in natura* da raiz, quanto para a indústria alimentícia, pois, segundo Hermann et al. (1999), existe alta correlação positiva entre o teor de sólidos solúveis e o conteúdo de frutanos ($r = 0,84$), e conseqüentemente de FOS, sugerindo que maiores teores de sólidos solúveis podem significar maiores teores de FOS. Essa medida seria uma forma para a obtenção de informações rápidas sobre essa importante variável, visto que, o teor de FOS encontrado no yacon tem despertado o interesse de muitos pesquisadores por ser um componente bioativo com alegação de prebiótico (KEENAN et al., 2011; SOLEIMANI et al., 2012).

De forma geral, os teores de sólidos solúveis do presente estudo estiveram entre 8,58 e 13,6 °Brix (Tabela 4), e foram semelhantes aos obtidos por Quinteros (2000), que foi 12,8° Brix; por Prati et al. (2009), de 11,67 °Brix; por Lago et al. (2011), de 8,0 °Brix; e superiores aos de Gibertoni et al. (2006), de 7,5 e 7,1 °Brix; de Gonçalves (2010), de 4,79 °Brix; e de Baioco (2013), de 6,89 e 6,83 °Brix.

Já os teores de glicídios redutores encontrados estiveram entre 3,43 e 5,36 % (Tabela 4) e foram semelhantes aos obtidos por Prati et al. (2009), de 3,94%, e por Baioco (2013), de 3,58 e 4,01% para os sucos de yacon sem e com branqueamento, respectivamente. No entanto, foram superiores aos verificados por Gibertoni et al. (2006), que foram de 1,03 e 1,94%. Lago et al. (2011) verificaram os teores de glicose e frutose em suco de yacon com concentração de sólidos solúveis de 10 °Brix e observaram valores de 7,8 e 16,42%, respectivamente.

No presente estudo, foram observados menores teores de glicídios redutores nas raízes tuberosas dos plantios de inverno em elevada altitude e de outono em baixa altitude, corroborando os menores teores de sólidos solúveis observados também nessas épocas de plantio dentro de cada altitude (Tabela 4). Acredita-se que a temperatura ao longo do ciclo de cultivo de cada época de plantio, em cada condição edafoclimática, e principalmente em

momentos próximos à colheita, também tenha contribuído para que teores diferentes de glicídios redutores fossem observados, visto que, diferentes estudos têm demonstrado ocorrência de mudanças na composição química dos açúcares das raízes de yacon após a colheita: os açúcares polimerizados tendem a se despolimerizar com o tempo, isto é, os FOS são hidrolisados em açúcares simples pela ação da enzima frutanhidrolase, que os converte em frutose, sacarose e glicose, no entanto, a velocidade desta conversão é mais lenta quando as raízes são armazenadas sob temperaturas de refrigeração (GRAEFE et al., 2004).

Os teores de fibra bruta encontrados estiveram entre 13,38 e 28,49%, em base seca (Tabela 4). Esses valores foram inferiores aos encontrados por Vasconcelos et al. (2010), que foram de 33,15%, e superiores aos observados por Contado (2009), que variaram entre 7,3 a 13,21%. Os resultados de fibra permitem dizer que os plantios de outono, em elevada altitude e de inverno em baixa altitude potencializam a característica do yacon como fonte de fibra alimentar, já que os teores de fibra das raízes tuberosas das plantas cultivadas nessas épocas se destacaram em relação às demais. Apesar do que, de forma geral as raízes produzidas em ambas as épocas e altitudes, apresentaram teores de fibra bruta acima dos observados por Quinteros (2000), que destacou que as fibras nas concentrações de 2,87% a 4,96%, já permitem julgar o alimento como rico em fibras.

Esse teor elevado abre a possibilidade do uso do yacon como suplemento alimentar rico em fibras, como apontado por Vasconcelos et al. (2010), Rolim et al. (2011) e Baioco (2013), ao produzirem farinhas da parte comestível do yacon e verificarem composição percentual de 47,42; 12,21 e 19,74%/bs de fibra bruta, respectivamente.

Observando os teores de cinzas (Tabela 4), percebeu-se que em elevada altitude apenas o plantio de inverno apresentou menor valor e que em baixa altitude o plantio de primavera se destaca, demonstrando que essas condições podem favorecer o acúmulo de minerais, que seria predominantemente feito com o cálcio, fósforo, magnésio, sódio, ferro e, principalmente, potássio ($230 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de massa fresca comestível ou de 1 a 2% de massa seca), que está presente em quantidades superiores àquelas de frutas geralmente consumidas no Brasil como banana, laranja, limão, goiaba, maçã, mamão, manga, melancia, melão, pera, dentre outras (RODRIGUES et al., 2011).

A concentração de minerais totais encontrados nas raízes de yacon *in natura* é muito variada, sendo que alguns valores encontrados no presente estudo (entre 0,16 e 0,55%/bu) convergiram e outros divergiram ao observado em outros estudos, que variaram de 0,30 a 0,90%/bu (VILHENA et al. 2000; QUINTEROS, 2000; MICHELS, 2005; VASCONCELOS et al. 2010; KOTOVICZ 2011).

Quanto aos atributos analisados no perfil de textura das raízes tuberosas, foi observado que as raízes produzidas em elevada altitude, independente da época de plantio, apresentaram maior coesividade e maior índice de mastigabilidade (Tabela 5), demonstrando que essas raízes exigem maior energia para que seja destruída a sua estrutura interna e para desintegrá-las a um estado pronto para ser engolido, sugerindo a produção de raízes mais crocantes e com maior resistência à mastigação.

Tabela 5. Perfil de textura de raízes tuberosas de yacon cultivado em duas condições edafoclimáticas, elevada e baixa altitudes, e três épocas de plantio. UFES, Ibatiba e Alegre, ES, 2013/14.

Épocas de plantio	Condições edafoclimáticas (altitudes)					
	Elevada ²		Baixa		Baixa	
	Dureza (g)		Adesividade (mJ)		Fratrabilidade (g)	
Outono	474,08 a	448,17 b	0,61 a	0,23 b	415,25 a	370,17 b
Inverno	490,00 a	458,67 b	0,75 a	0,28 b	394,83 a	394,17 b
Primavera	484,25 a	775,00 a	074 a	0,96 a	399,50 a	690,17 a
Médias ¹	482,78 A	560,61 A	0,70 A	0,49 A	403,20 A	484,83 A
CV(%)	11,52		26,61		18,47	
	Coesividade		Índice de mastigabilidade (g)			
Outono	0,093 a	0,035 b	33,83 a	14,08 b		
Inverno	0,054 b	0,042 b	19,08 b	11,42 b		
Primavera	0,059 b	0,065 a	24,25 b	32,42 a		
Médias ¹	0,069 A	0,047 B	25,72 A	19,31 B		
CV(%)	19,32		14,50			

¹Na horizontal compara médias entre as condições edafoclimáticas para cada variável, onde as mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste F em 5% de probabilidade.

²Na vertical, as médias de épocas de plantio dentro de cada condição edafoclimática seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Observou-se, em elevada altitude, que o plantio de outono também promoveu maiores coesividade e índice de mastigabilidade das raízes tuberosas, caracterizando-as como mais crocantes e com maior resistência à mastigação, enquanto os plantios de inverno e primavera foram semelhantes (Tabela 5).

Em condições de baixa altitude, o plantio de primavera promoveu maior dureza, adesividade, fraturabilidade, coesividade e índice de mastigabilidade das raízes tuberosas (Tabela 5). Isso significa que será requerida maior força para iniciar a fratura dessas raízes e para deformá-las. Maior trabalho também será necessário para superar as forças de atração entre a superfície das raízes e outras superfícies com as quais as raízes entrem em contato. Além disso, essas raízes exigirão maior energia para que seja destruída a sua estrutura interna

e para desintegrá-las a um estado pronto para ser engolido, denotando a produção de raízes tuberosas bem mais firmes e resistentes à mastigação quando comparado com as raízes dos plantios de outono e inverno, que foram semelhantes entre si (Tabela 5). Ressalta-se que a cultura do yacon plantado na primavera em baixa altitude, teve seu crescimento e desenvolvimento comprometidos pelas elevadas temperaturas do verão (Figura 1), e dessa forma, apresentou atributos de textura diferentes dos demais plantios em mesma altitude.

Como a textura, juntamente com a aparência e o sabor, constituem os três atributos de qualidade que estabelecem a aceitabilidade de um alimento pelo consumidor (MOHSENIN, 1986), pode-se afirmar que se conseguem raízes tuberosas de yacon com melhor qualidade, quando essas são plantadas em elevada altitude, independente da época de plantio, no entanto, o plantio de primavera nessa altitude se destaca devido aos elevados teores de sólidos solúveis que podem influenciar em sabor mais adocicado, além de maiores teores de FOS, que são os componentes bioativos (prebióticos) buscados no consumo de yacon.

Dessa forma, raízes tuberosas de pior qualidade são obtidas quando o plantio ocorre na primavera em baixa altitude, pois apesar dos maiores teores de sólidos solúveis dentre os plantios nessa altitude, essas raízes apresentaram cor escura e atributos de textura bem diferenciado dos demais, caracterizando-se como raízes bem mais firmes e com maior resistência à mastigação. Por isso, em baixa altitude, melhor qualidade de raízes tuberosas de yacon é obtida quando o plantio da cultura ocorre no outono ou inverno.

As variações observadas nos parâmetros físico-químicos das raízes tuberosas de yacon encontradas no presente estudo, em relação a outros, podem ser atribuídas às variações climáticas devido às diferentes altitudes de cultivo e épocas de plantio, além dos seguintes fatores: cultivar empregado, época de colheita, formas e métodos de processamento (KANASHIRO et al., 2008; VASCONCELOS et al., 2010 e BAIOCO, 2013).

CONCLUSÃO

Em conclusão, as características físico-químicas das raízes tuberosas de yacon variam de acordo com as condições edafoclimáticas de cultivo e as épocas de plantio. As raízes tuberosas produzidas em elevada altitude apresentam características físico-químicas mais desejáveis em relação à baixa altitude, com destaque para o plantio de primavera devido aos elevados teores de sólidos solúveis. No entanto, em baixa altitude, os plantios de outono e inverno proporcionam características físico-químicas mais desejáveis de raízes tuberosas.

AGRADECIMENTOS

A Capes pela bolsa de doutorado. Ao CNPq e a FAPES, pelo auxílio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E.N.; ROLIM, P.M. Potencialidades do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) no diabetes *Mellitus*. **Revista Ciências Médicas**, v.20, n.3-4, p.99-108, 2011.

AMERICAN OIL CHEMISTS SOCIETY (AOCS). **Official and recommended practices - method 18**. 5 th. ed, 2003. Second printing. Bc 6- 49

ARNAO, I.; SEMINÁRIO, J.; CISNEROS, R.; TRABUCCO, J. Potencial antioxidante de 10 accesiones de yacón, *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson, procedentes de Cajamarca – Perú. **An Fac Med**, v. 72, n. 4, p. 239-243, 2011.

BAIOCO, F.F. **Obtenção e caracterização físico-química de derivados de yacon (*Smallanthus sonchifolius*)**. 2013. 49 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre - ES. 2013.

BONET, M. E. B.; MESON, O.; LEBLANK, A. M.; DOGI, C. A.; CHAVES, S.; KORTSARZ, A.; GRAU, A.; PERDIGÓN, G. Prebiotic effect of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on intestinal mucosa using a mouse model. **Food and Agricultural Immunology**, v.21, n. 2, p. 175-189, jun. 2010.

BORGES, J.T.S; PIROZI, M.R.; PAULA, C.D. de; VIDIGAL, J.G.; SILVA, N.A.S.; CALIMAN, F.R.B. Yacon na alimentação humana: aspectos nutricionais, funcionais, utilização e toxicidade. **Scientia Amazonia**, v. 1, n.3, p. 3-16, 2012.

CAMPOS, D.; BETALLELUZ-PALLARDEL, I.; CHIRINOS, R.; AGUILAR-GALVEZ, A.; NORATTO, G.; PEDRESCHI, R. Prebiotic effects of yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp. & Endl), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 135, p. 1592–1599, 2012.

CASTRO, A.; CABALLERO, M.; HERBAS, A.; CARBALLO, S. Antioxidants in yacon products and effect of long term storage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.32, n.3, p.432-435, 2012.

CASTRO, A.; CÉSPEDES, G.; CARBALLO, S.; BERGENSTÄHL, B.; TORNBERG, E. Dietary fiber, fructooligosaccharides, and physicochemical properties of homogenized aqueous suspensions of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food Research International**, v. 50, p. 392-400, 2013.

CONTADO, E.W.N. da F. **Obtenção, caracterização e utilização dos frutanos de tubérculos do yacon *Smallanthus sonchifolia***. 2009. 144p. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Lavras, MG. 2009.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: UFV, 2006. 382p.

DELGADO, G.T.C.; THOMÉ, R.; GABRIEL, D.L.; TAMASHIRO, W.M.S.C; PASTORE, G.M. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) derived fructooligosaccharides improves the immune parameters in the mouse. **Nutrition Research**, v.32, p.884-892, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FREITAS, D.G.C.; JACKIX, M.N.H. Efeito de bebida adicionada de frutoligosacarídeo e pectina no nível de colesterol e estimulação de bifidobactérias em hamsters hipercolesterolêmicos. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.1, p.81-86, 2005.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M; HABIB, N.; PONS, J.; CARILLO, I. M.; GRAU, A.; SÁNCHEZ, S.S. Yacon syrup: Beneficial effects on obesity and insulin resistance in humans. **Clinical Nutrition**, v. 28, n. 2, p. 182–187, 2009.

GENTA, S.B.; CABRERA, W.M.; MERCADO, M.I.; GRAU, A.; CATALÁN, C.A.; SÁNCHEZ, S.S. Hypoglycemic activity of leaf organic extracts from *Smallanthus sonchifolius*: constituents of the most active fractions. **Chemico-Biological Interactions**, 185: 143–152, 2010.

GEYER, M.; MANRIQUE, I.; DEGEN, L.; BEGLINGER, C. Effect of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) on Colonic Transit Time in Healthy Volunteers. **Digestion**, v. 78, p.30-33, 2008.

GIBERTONI, C.F.; NOGUEIRA, A.M.P.; FILHO, W.G.V. Ultra e microfiltração de suco de yacon (*Polymnia sonchifolia*) para obtenção de xarope rico em frutanos. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 2, p. 68-81, 2006.

GONÇALVES, P.V.M. **Desenvolvimento de massa alimentícia funcional a base de extrato em pó e farinha de Yacon (*Polymnia sonchifolia*) e farinha de arroz por processo de extrusão termoplástica**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 120 p., 2010.

GUSSO, A.P.; MATTANNA, P.; RICHARDS, N. Yacon: benefícios à saúde e aplicações tecnológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.5, p.912-919, mai, 2015.

GRAEFE, S.; HERMANN, M.; MANRIQUE, I.; GOLOMBEK, S.; BUERKERT, A. Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2-3, p. 157-165, 2004.

HABIB, N. C.; HONORÉ, S. M.; GENTA, S. B.; SÁNCHEZ, S. S. Hypolipidemic effect of *Smallanthus sonchifolius* (yacon) roots on diabetic rats: Biochemical approach. **Chemico-Biological Interactions**, v. 194, p. 31-39, 2011.

HASLER, C.M. The Changing Face of Functional Foods. **Journal of the American College of Nutrition**, v.19, p.499-506, 2000.

HERMANN, M.; FREIRE, I.; PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. In: **Impact on a changing world: Program report 1997–98**. International Potato Centre

(CIP), Lima (Perú), p. 425-432, 1999.

HUNTERLAB. What is color and how is measured. **Applications Note**, v.12, n.5, p.1-8, 2000. Disponível em <http://www.hunterlab.com/appnotes/an05_00.pdf>. Acesso em 05/08/2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - IAL. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4 ed. (1ª ed. digital). São Paulo, 1002 p. 2008.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Disponível em: <<http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=bol>> Acesso em 20 dez. 2014.

KANASHIRO, R.S.; FERRARO, R.G.; POLTRONIERI, F. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): importância funcional. **Nutrição em Pauta**, v. 16, n. 92, p. 9-12, 2008.

KEENAN, D.F.; BRUNTON, N.; BUTLER, F.; WOUTERS, R.; GORMLEY, R. Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purees enriched with prebiotic inclusions. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 261-268, 2011.

KOTOVICZ, V. **Otimização da desidratação osmótica e secagem do yacon (*Polymnia sonchifolia*)**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 89 p., 2011.

LAGO, C.C.; BERNSTEIN, A.; BRANDELLI, A.; NOREÑA, C.Z. Characterization of powdered yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice and pulp. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2183-2191, 2011.

LOBO, A. R.; COLLI, C.; ALVARES, E. P.; FILISETTI, T. M. C. C. Effects of fructans containing yacon (*Smallanthus sonchifolius* Poepp & Endl.) flour on caecum mucosal morphometry, calcium and magnesium balance, and bone calcium retention in growing rats. **British Journal of Nutrition**, v. 97, n. 4, p. 776-785, 2007.

LOBO, A.R.; COCATO, M.L.; BORELLI, P.; GAIEVSKI, E.H.S.; CRISMA, A.R.; NAKAJIMA, K.; NAKANO, E.Y.; COLLI, C. Iron bioavailability from ferric pyrophosphate in rats fed with fructan containing yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Food Chemistry**, v.126, p.885-891, 2011.

MICHELS, I. **Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 107 p., 2005.

MOHSENIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties**. 2ª ed. Canadá, Gordon and Breach Publishers, 1986. 891p.

MOURA, N.A. de; CAETANO, B.F.R.; SIVIERI, K.; URBANO, L.H.; CABELLO, C.; RODRIGUES, M.A.M.; BARBISAN, L.F. Protective effects of yacon (*Smallanthus*

sonchifolius) intake on experimental colon carcinogenesis. **Food and Chemical Toxicology**, 50: 2902-2910, 2012.

OLIVEIRA, G.O.; BRAGA, C.P.; FERNANDES, A.A.H. Improvement of biochemical parameters in type 1 diabetic rats after the roots aqueous extract of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Food and Chemical Toxicology**, v.59, p.256-260, 2013.

PRATI, P.; BERBARI, S.A.G.; PACHECO, M.T.B.; SILVA, M.G.; NACAZUME, N. Estabilidade dos componentes funcionais de geleia de yacon, goiaba e acerola, sem adição de açúcares. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 285-294, 2009.

QUINTEROS, E.T.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon**. Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 163 p., 2000.

RIBEIRO, J.A. **Estudos químicos e bioquímicos do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influência do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos**. Dissertação de Mestrado em Ciência dos Alimentos. Universidade federal de Lavras, Lavras, 166 p., 2008.

RODRIGUES, F.C.; CASTRO, A.S.B.; MARTINO, H.S.D.; FERREIRA, C.L.L.F. Farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): produção e caracterização química. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 70, n. 3, p. 290-295, 2011.

ROLIM, P.M.; SALGADO, S.M.; PADILHA, V.M.; LIVERA, A.V.S.; ANDRADE, S.A.C.; GUERRA, N.B. Glycemic profile and prebiotic potential “in vitro” of bread with Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) flour. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 2, p. 467-474, abr./jun., 2011.

SANTANA, I.; CARDOSO, M.H. Raiz tuberosa de yacon (*Smallanthus sonchifolius*): potencialidade de cultivo, aspectos tecnológicos e nutricionais. **Ciência Rural**, 38: 898-905, 2008.

SCHER, C.F.; RIOS, A.O.; NOREÑA, C.P.Z. Hot air drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and its effect on sugar concentrations. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 2169-2175, 2009.

SOLEIMANI, N.; HOSEINIFAR, S.H.; MERRIFIELD, D.L.; BARATI, M.; ABADI, Z.H. Dietary supplementation of fructooligosaccharide (FOS) improves the innate immune response, stress resistance, digestive enzyme activities and growth performance of Caspian roach (*Rutilus rutilus*) fry. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, n. 2, p. 316-321, 2012.

TOSTES, M.G.V.; VIANA, M.L.; GRANCIERI, M.; LUZ, T.C.S.; PAULA, H.; PEDROSA R.G.; COSTA, N.M.B. Yacon effects in immune response and nutritional status of iron and zinc in preschool children. **Nutrition**, v.9142, p.666- 672, 2014.

VASCONCELOS, C.M.; SILVA, C.O.; TEIXEIRA, L.J.Q.; CHAVES, J.B.P.; MARTINO, H.S.D. Determination of the soluble dietary fiber fraction in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) root and flour by enzymatic-gravimetric method and high pressure liquid chromatography. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 2, p. 188-193, 2010.

VIGNALE, N.D.; GURNI, A.A. Identificación micrográfica de las hojas de *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson (Asteraceae). **Acta Farmaceutica Bonaerense**, v. 24, p. 96-98, 2005.

VILHENA, S.M.C.; CÂMARA, F.L.A.; KAKIHARA, S.T. O cultivo de yacon no Brasil. **Horticultura Brasileira**, 18: 5-8, 2000.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **WHO guidelines on safety monitoring of herbal medicines in pharmacovigilance systems**. Geneva: WHO, 2004. 82p.

YASUDA, A.; INOUE, K.; SANBONGI, C.; YANAGISAWA, R.; ICHINOSE, T.; TANAKA, M.; YOSHIKAWA, T.; TAKANO, H. Dietary supplementation with fructooligosaccharides attenuates allergic peritonitis in mice. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 422, p. 546–550, 2012.

ZERAIK, M.L.; PEREIRA, C.A.M.; ZUIN, V.G.; YARIWAKE, J.H. Maracujá: um alimento funcional? **Revista Brasileira de Farmacologia**, v.20, n.3, p. 459-471, 2010.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das avaliações realizadas ficam evidentes as influências das condições edafoclimáticas de cada local de cultivo e da época de plantio no crescimento, no desenvolvimento, no rendimento e na qualidade do yacon. De forma geral, o cultivo de yacon nas condições de elevada altitude, independente da época de plantio, promove maior ciclo de cultivo e conseqüentemente maior crescimento das plantas, além de maior produtividade e qualidade de raízes tuberosas. No entanto, em ambas as altitudes, o plantio de yacon realizado no outono promove maior ciclo de cultivo e, por sua vez, maior crescimento das plantas e maiores produtividades de raízes tuberosas e rizóforos, enquanto o plantio de verão necessita de mais estudos sobre o manejo adequado para o cultivo nas condições edafoclimáticas do Sul do Espírito Santo. Dessa forma, para que o plantio de verão em ambas as condições edafoclimáticas estudadas seja viável, alguns manejos, como o aumento da profundidade de plantio dos rizóforos e o cultivo sombreado devem ser testados com o intuito de minimizar a desidratação dos rizóforos no solo utilizados na propagação da cultura, além de minimizar a mortalidade de brotos recém-emergidos. Além desses manejos, a produção de mudas em viveiro e conseqüentemente o uso de mudas em estágio mais avançado de desenvolvimento também deve ser testada como forma de propagação da cultura em campo durante o verão em substituição ao uso de rizóforos.