



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS (PPGCTA)

CAROLINE FENNER SCHER

ESTUDO DO BRANQUEAMENTO E DA SECAGEM MEDIANTE AR QUENTE DO
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)

PORTO ALEGRE

2009

CAROLINE FENNER SCHER

**ESTUDO DO BRANQUEAMENTO E DA SECAGEM MEDIANTE AR QUENTE DO
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como um dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Caciano Pelayo Zapata Noreña

Co-orientador: Prof. Dr. Alessandro de Oliveira Rios

PORTO ALEGRE

2009

Caroline Fenner Scher

(Bacharel em Química Industrial de Alimentos/UNIJUÍ-UERGS)

DISSERTAÇÃO

**ESTUDO DO BRANQUEAMENTO E DA SECAGEM MEDIANTE AR QUENTE DO
YACON (*Smallanthus sonchifolius*)**

Submetida como parte dos requisitos para obtenção do grau de

MESTRE EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (PPGCTA)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, RS, Brasil.

Aprovada em:...../...../.....

Pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Caciano Pelayo Zapata Noreña

Orientador – PPGCTA/UFRGS

Prof. Dr. Alessandro de Oliveira Rios

Co-orientador – ICTA/UFRGS

Homologada em:/...../.....

Por:

Prof. Dr. Adriano Brandeli

Banca - UFRGS

Profa. Dra. Vânia Regina Nicoletti Telis

Banca - UNESP

Profa. Dra. Ligia Damasceno Ferreira

Marczak

Banca - UFRGS

José Maria Wiest

Coordenador do Programa de Pós
Graduação em Ciência e Tecnologia de
Alimentos (PPGCTA)

ADRIANO BRANDELI

Diretor do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos. ICTA/UFRGS

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial a minha família que sempre esteve ao meu lado, pelo amor, carinho e confiança que sempre tiveram por mim.

AGRADECIMENTOS

A minha família que sempre me apoiou e confiou em mim;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, por ter possibilitado a realização deste trabalho;

Ao Prof. Caciano Noreña Zapata, pela ajuda e paciência durante esse período;

Ao Prof. Alessandro, pela ajuda e amizade;

A meus colegas e amigos;

A todos os professores(as) e funcionários que contribuíram na minha formação;

A todos aqueles que de uma forma ou outra contribuíram para a conclusão deste trabalho;

A DEUS, pela vida.

“Pois cinza é toda teoria e verde a dourada árvore da vida”

Goethe

RESUMO

O Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta que pertence à família *Asteraceae*, é originário das montanhas dos Andes e no Brasil seu cultivo iniciou-se em 1991. Possui carboidratos solúveis tais como frutose, glicose, sacarose e frutooligossacarídeos (FOS), sendo que os FOS não podem ser metabolizados pelo trato digestivo humano, tendo dessa forma atividade prebiótica. Este trabalho visou estudar o efeito do branqueamento no yacon e posterior secagem mediante ar quente. As raízes foram limpas e selecionadas considerando a ausência de injúrias visuais e infecções. A seguir foram descascadas e cortadas em forma de rodela (espessuras de $1,75 \pm 0,35$ mm) e cubos ($1,00 \pm 0,01\text{cm}^3$). Foi verificada a ocorrência da solubilização dos açúcares durante o branqueamento, onde foram avaliadas as perdas de inulina, glicose e frutose em diferentes condições de tempo e temperatura. Foi observada a maior solubilização nas amostras em rodela que em cubos na maioria dos tratamentos estudados. O teste de Tukey indicou que no branqueamento do yacon em forma de rodela e cubos, o tempo, a temperatura e a interação entre eles foi significativa na solubilização dos açúcares, exceto na frutose (nas amostras em rodela) e na inulina (nas amostras em cubos) onde somente foi significativo o tempo e a temperatura. Os resultados obtidos da superfície de resposta permitiram obter modelos estatísticos para estimar a perda de açúcares no branqueamento das amostras em rodela, estimando as condições de maior solubilização. Devido a essas perdas, estudou-se o branqueamento a vapor em amostras em rodela, que foram colocadas dentro de uma autoclave gerando vapor a 100°C nos tempos de 1, 2, 4, 6, 8 e 10 minutos, sendo a melhor condição a 4 minutos, onde foi possível reduzir a atividade enzimática da PER e PPO em 84,6% e 83,7%, correspondendo a perdas de inulina, glicose e frutose de 30,6, 39,4 e 15,8% respectivamente. A seguir foi realizada a secagem nas amostras de yacon, nas temperaturas de 50, 60 e 70°C por 5 horas e 30 minutos sem e com branqueamento, onde verificou-se o efeito do pré-tratamento e da temperatura sobre a redução da umidade e da atividade de água, revelando que o menor tempo de secagem foi obtido a 70°C em amostras com branqueamento. Também foi observado que após 5 horas de secagem a concentração de inulina diminuiu, enquanto que as concentrações de glicose e frutose aumentaram, sendo que os teores desses componentes no final da secagem não diferiram com a temperatura, tanto nas amostras que sofreram ou não branqueamento. No entanto, houve conversão dos FOS em açúcares redutores. O aumento na concentração dos açúcares redutores pode ser devido à presença de atividade enzimática da inulinase.

Palavras-chave: yacon, desidratação, branqueamento, frutooligossacarídeos, inativação enzimática, vapor, solubilização, glicose, frutose, inulina.

ABSTRACT

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a plant belonging to the *Asteraceae* family and originated in the Andes Mountains, having been cultivated in Brazil since 1991. It contains soluble carbohydrates such as fructose, glucose, sucrose and fructooligosaccharides (FOS), the latter not being metabolized in the human digestive tract and thus presenting prebiotic activity. This work aimed to study the effect of blanching and subsequent hot air drying on yacon. The roots were cleaned and selected considering the absence of visual injury and infections. They were then peeled and cut into slices (1.75 ± 0.35 mm thick) and cubes ($1.00 \pm 0.01\text{cm}^2$). The sugars were shown to dissolve during blanching, and the losses of inulin, glucose and fructose were determined under different conditions of time and temperature. For the majority of conditions studied, greater dissolution was observed with the slices than with the cubes. Tukey's test indicated that both the time and the temperature and the interaction between them were significant with respect to the dissolution of sugars in the blanching of yacon in the form of both slices and cubes, with the exception of fructose (for the sliced samples) and inulin (for the samples in cubes), where only the time and temperature were significant. The results obtained from the response surface allowed for the production of statistical models to estimate the loss of sugars during blanching for the samples in slices, estimating the conditions for greatest dissolution. Due to these losses, steam blanching of the slices was studied, placing the slices inside an autoclave generating steam at 100°C for times of 1, 2, 4, 6, 8 and 10 minutes, the best condition being that of 4 minutes where it was possible to reduce the PER and PPO activities by 84.6% and 83.7%, respectively, with losses of inulin, glucose and fructose of 30.6, 39.4 and 15.8%, respectively. Drying of the yacon samples at temperatures of 50, 60 and 70°C for 5 hours and 30 minutes, with and without blanching, was then carried out, verifying the effect of the pre-treatment and of the drying temperature on the reduction in moisture content and water activity. The shortest drying time was obtained at 70°C with blanched samples. It was also observed that after 5 hours of drying the concentration of inulin decreased, whereas the concentrations of glucose and fructose increased, the contents of these components at the end of the drying period not varying according to the drying temperature, for either the blanched or non-blanched samples. Thus the FOS were converted into reducing sugars, and the increase in reducing sugars could have been due to the presence of inulinase activity.

Keywords: yacon, dehydration, blanching, fructooligosaccharides, enzyme inactivation, steam, dissolution, glucose, fructose, inulin.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Tubérculos de yacon in natura.....	12
Figura 2. Fórmula estrutural das moléculas dos frutanos.....	16
Figura 3. Relação entre a a_w , o crescimento microbiano e a velocidade de diversas reações.....	18

CAPÍTULO 2

Figure 1 Moisture content (dry basis) as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for non-blanchéd yacon. (■) 50°C, (●) 60°C and (▲) 70°C.....	35
Figure 2 Moisture content (dry basis) as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for blanchéd yacon. (■) 50°C (●) 60°C and (▲) 70°C.....	35
Figure 3 Water activity as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for non-blanchéd yacon. (■) 50°C, (●) 60°C and (▲) 70°C.....	35
Figure 4 Water activity as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for blanchéd yacon. (■) 50°C, (●) 60°C and (▲) 70°C.....	36

CAPÍTULO 3

Figure 1. Comparison between the residual PPO and PER activities in yacon pulp after different steam blanching times ($Ug^{-1} min^{-1}$). (■) PER and (●) PPO.....	56
--	----

CAPÍTULO 4

Figura 1. Solubilização da inulina em amostras de yacon cortadas em rodelas.....	66
Figura 2. Solubilização da glicose em amostras de yacon cortadas em rodelas.....	67
Figura 3. Solubilização da frutose em amostras de yacon cortadas em rodelas.....	68

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Composição química do yacon em base úmida.....	15
Tabela 2. Conteúdo de inulina e oligofrutose em alimentos ¹	16

CAPÍTULO 2

Table 1 Values for moisture content and water activity at equilibrium in yacon slices with and without blanching.....	37
Table 2 Sugar (dry weight basis), soluble solids, acidity and pH in non-blanching dehydrated yacon slices.....	37

CAPÍTULO 3

Table 1. Sugar concentrations (g/100g d.m.) at the end of drying, with and without blanching.....	57
--	----

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Planejamento experimental para análise de superfície de resposta.....	63
Tabela 2. Análises de variância para a solubilização de açúcares no branqueamento de yacon.....	64

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 YACON (<i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i>)	12
1.2 CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DO YACON	13
1.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	14
1.4 INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA	17
1.5 SECAGEM	17
1.6 OBJETIVO GERAL	19
1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO 2	20
DRYING OF YACON (<i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i>) IN HOT AIR AT DIFFERENT TEMPERATURES	21
CAPÍTULO 3	38
STUDY OF ENZYME INACTIVATION USING STEAM AND THE CONCENTRATION OF SUGARS IN DEHYDRATED YACON (<i>SMALLANTHUS SONCHIFOLIUS</i>) ROOTS	39
CAPÍTULO 4	58
SOLUBILIZAÇÃO DOS AÇÚCARES DO YACON DURANTE O BRANQUEAMENTO EM ÁGUA QUENTE	59
DISCUSSÃO GERAL	71
REFERÊNCIAS	73

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

1.1 YACON (*Smallanthus sonchifolius*)

O Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta que pertence à família *Asteraceae* (GRAU e REA, 1997). Yacon é uma palavra original da língua indígena Quechua, que significa *yakku* (insípido) e *unu* (água). Possui vários nomes comuns, entre eles: aricoma (Peru e Bolívia), arboloco (Colômbia), jíquima e jiquimilla (Venezuela e Colômbia), jícama (Equador), llacón (Argentina), poir de terre (França), yacon strawberry (Estados Unidos) e polimnia (Itália) (ZARDINI, 1991). De maneira geral o termo yacon é o mais utilizado, principalmente em países como Colômbia, Peru, Argentina, países europeus, Japão, Nova Zelândia e Brasil (GRAU e REA, 1997).

Este tubérculo é uma planta perene originada das montanhas dos Andes (GRAEFE et al., 2004). A planta cresce em altitudes de 1000 e 3500m e é cultivada da Colômbia ao noroeste da Argentina (GRAU e REA, 1997), embora cresça também ao nível do mar na Nova Zelândia e nos Estados Unidos (CAZETTA et al., 2005). Nos Andes os pequenos agricultores plantam o yacon para subsistência (HERMANN et al., 1998).

A altura da planta varia de 1,5 a 3,0 metros e apresenta um sistema de raiz de 4 a 20 tubérculos. Os povos dos Andes o consideram como uma “Fruta” por apresentar um valor energético relativamente baixo e ao seu gosto doce (Figura 1) (CAZETTA et al., 2005). Suas raízes tuberosas pesam de 200g a 2kg (GOTO et al., 1995). Seu rendimento no campo pode variar entre 50 e 70 t/ha (CAPITO, 1999). E as plantas são extremamente robustas e capazes de crescer sob condições de climas quentes ou frios (LACHMAN et al., 2003).



Figura 1. Tubérculos de yacon in natura

Nas últimas três décadas, o cultivo de yacon tem se estendido para outros continentes e, na atualidade, o yacon já é cultivado em muitos países fora dos Andes, como Paraguai, Estados Unidos, Eslováquia, China, Coreia e Taiwan (LACHMAN et al., 2004).

O yacon tem sido cultivado no Brasil desde 1991 (ZARDINI, 1991). Sua rota migratória foi plenamente identificada. Na década de 80, o yacon saiu pela primeira vez do Equador até a Nova Zelândia, país em que se adaptou bem e onde hoje é cultivado em pequena escala (MANRIQUE et al., 2004). Em 1985, ele foi levado da Nova Zelândia ao Japão, país onde tem se realizado a maior quantidade de investigações científicas referentes ao manejo agrônomo, à composição química, às propriedades sobre a saúde e desenvolvimento de produtos processados (LACHMAN et al., 2004). O Japão foi o centro da dispersão da raiz até outros países, como Coreia e Brasil (SEMINÁRIO et al., 2003).

No ano de 2003, a EMATER da cidade de Erechim/RS, iniciou um trabalho de multiplicação e produção da batata yacon, utilizada como alimento e que atua no controle de diabetes, colesterol e pressão alta. Segundo a EMATER, cerca de 20 unidades foram implantadas nessa região onde está sendo observado o comportamento da planta em relação a sua adaptação ao clima e produção.

1.2 CARACTERÍSTICAS E BENEFÍCIOS DO YACON

Recentemente incorporado no Brasil, o yacon vem despertando o interesse do mundo científico devido ao seu potencial como alimento funcional (CAPITO, 2001).

O yacon, assim como no caso da alcachofra e do tupinambo ou girassol batateiro, produz grandes raízes tuberosas, possui a polpa crocante, similares à batata doce em aparência, com um gosto normalmente doce devido à abundância de carboidratos solúveis tais como frutose, glicose, sacarose e frutooligossacarídeos (FOS) (LACHMAN et al., 2003 e NEVES e SILVA, 2007). Suas raízes carecem de amido, o qual as tornam potencialmente benéficas na dieta de indivíduos com diabetes (NEVES e SILVA, 2007).

Segundo Quinteros (2000), se destinado ao consumo *in natura*, o yacon deve ficar ao sol alguns dias para aumentar sua doçura, pela hidrólise dos frutanos. Já para a extração de inulina ou FOS se exige um rápido processamento para evitar a degradação dos mesmos (QUINTEROS, 2000).

Os FOS se distinguem da maioria dos carboidratos porque não podem ser metabolizados pelo trato digestivo humano, de modo que seu consumo não eleva o nível de

glicose no sangue e sua contribuição calórica no organismo é bastante reduzida, por esta razão, o yacon é considerado um alimento ideal para indivíduos com diabetes e com peso excessivo (MANRIQUE e HERMANN, 2003).

Passos e Park (2003) relatam que os frutooligossacarídeos são considerados prebióticos uma vez que promovem seletivamente o crescimento de probióticos como *Acidophilus* e *Bifidus*. Essa característica faz com que os FOS promovam uma série de benefícios à saúde humana, desde a redução de colesterol sérico até o auxílio na prevenção de alguns tipos de câncer (PASSOS e PARK, 2003).

Manrique e Hermann (2003) relatam que os FOS são açúcares que têm uma baixa digestibilidade em humanos, por isso sua quantidade de calorias no organismo é muito menor que da maioria dos carboidratos. Um grama de FOS equivale a uma caloria, ou seja, a quarta parte do valor calórico do amido ou da sacarose. Neste sentido, os FOS são substitutos hipocalóricos de vários tipos de açúcares e podem ser incluídos em vários regimes dietéticos para diminuir o peso (MANRIQUE e HERMANN, 2003).

Inoue et al. (1995), mencionam que propriedades antidiabéticas também têm sido atribuídas às folhas do yacon, as quais são secas e usadas para a preparação de chá. Adicionalmente, a planta deve conter alguns compostos antifúngicos e pesticidas, pois foi observada a não necessidade do uso de pesticidas e defensivos no cultivo de yacon (INOUE et al., 1995).

O yacon pode ser utilizado para processamento industrial, particularmente como uma fonte de inulina (LACHMAN et al., 2003). A inulina e os oligofrutanos são fibras probióticas obtidas de raízes de yacon, chicória e outros (BOSSCHER e VAN LOO, 2006). Conforme Seminário et al. (2003), o yacon é consumido tradicionalmente como fruta fresca (por ser reidratante e agir na prevenção de câimbras devido a seu alto teor de potássio) ou desidratada.

1.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

A composição média da raiz tuberosa por 100 g da matéria fresca é mostrada na Tabela 1. A maior porção de biomassa da raiz é composta de água a qual usualmente excede 70% do peso *in natura* (LACHMAN et al., 2003). A composição deste tubérculo apresenta variações com a região de plantio (HERMANN et al., 1998).

Tabela 1. Composição química do yacon em base úmida

<i>COMPONENTES</i>	<i>COMPOSIÇÃO</i>
Água (%)	88,64 - 91,2
Carboidratos (%)	8,9 - 12,7
Cinzas (%)	0,43 - 0,6
Proteínas (%)	0,27 - 0,37
Fibras (%)	0,31 - 0,41
Lipídios (%)	0,01 - 0,05
Sólidos Solúveis (°Brix)	9,0 - 12,6
Açúcares Totais (g)	18 - 42

Fonte: Hermann et al. (1998).

Os índices médios de minerais por 100g de base úmida são 334; 34; 12; 8,4; 0,4 e 0,2 mg de potássio, fósforo, cálcio, magnésio, sódio e ferro, respectivamente. Vitaminas B1, B2, C, caroteno e polifenóis estão presentes nas concentrações de 0,07; 0,31; 5,0; 0,13 e 203 mg, respectivamente (LACHMAN et al., 2003).

Ao contrário da maioria das raízes, que armazenam carboidratos na forma de amido, o yacon armazena os carboidratos na forma de frutanos (Figura 2) (CAPITO, 2001). A maior proporção destes carboidratos é o açúcar na forma de inulina ou frutooligossacarídeos (FOS), os quais são polímeros curtos de frutose com um grau de polimerização de 3-10 frutanos (GOTO et al. 1995). A composição dos açúcares varia de forma significativa em função de fatores como a cultivar, a época de cultivo e a colheita, o tempo e a temperatura na pós-colheita (SEMINÁRIO et al., 2003).

Os frutanos são oligo e polissacarídeos, consistem em uma cadeia longa de moléculas de frutose ligadas a uma molécula de glicose. As moléculas de frutose são unidas por ligações $\beta(2\rightarrow1)$, e a última molécula de frutose é ligada com a glicose pela ligação $\alpha(1\rightarrow2)$, similar a sacarose (ROBERFLOID, 1999). Para Gibson e Roberfroid (1995), as inulinas são frutanos cujas ligações são do tipo $\beta(2\rightarrow1)$ com um GP (Grau de Polimerização) que varia entre 2 e 60 unidades, sendo que as inulinas de cadeia curta com GP de 2 até 20 unidades são conhecidas como frutooligossacarídeos (oligofrutose).

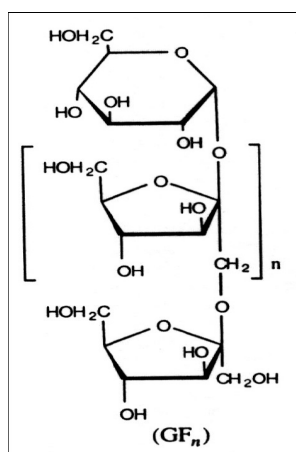


Figura 2 . Fórmula estrutural das moléculas dos frutanos.

Fonte: Quinteros, (2000).

A inulina está presente em mais de 30.000 produtos vegetais (ROBINSON e ROBERFROID, 1995), como em cereais (trigo, cevada), vegetais (cebola, alho porro, alho, aspargos, salsífi-negro) e frutas (banana), o que confirma sua posição como ingrediente natural de nossa alimentação (Tabela 2) (VAN LOO et al., 1995). A inulina foi recentemente identificada como um ingrediente substituto de gordura ou açúcar (FIGUEIRA et al., 2004).

Tabela 2 . Conteúdo de inulina e oligofrutose em alimentos¹

Fonte	Nome científico	Parte comestível	Inulina (%)	Oligofrutose (%)
Alcachofra	<i>Cynara scolymus</i>	folhas centrais	3-10	<1
Alho	<i>Allium sativum</i>	bulbo	9-16	3-6
Alho porro	<i>Allium ampeloprasum</i>	bulbo	3-10	2-5
Almeirão	<i>Cichorium intybus</i>	raízes	15-20	5-10
Aspargo	<i>Asparagus officinalis</i>	talo	1-30	1-20
Banana	<i>Musa acuminata</i>	fruto	0,3-0,7	0,3-0,7
Bardana maior	<i>Arctium lappa</i>	raízes	3,5-4	(---)
Cebola	<i>Allium cepa</i>	bulbo	2-6	2-6
Centeio	<i>Secale sativa</i>	grãos	0,5-1	0,5-1
Cevada	<i>Hordeum vulgare</i>	grãos	0,5-1,5	0,5-1,5
Dente de leão	<i>Taraxacum officinale</i>	folhas	12-15	(---)
Trigo	<i>Triticum aestivum</i>	grãos	1-4	1-4
Tupinambo	<i>Helianthus tuberosus</i>	tubérculos	16-20	16-20
Yacón	<i>Polymnia sonchifolia</i>	raízes	3-19	3-19

(---) = Dado não avaliado

(1) = Valores na amostra integral

Fonte: Gibson et al. (1994).

1.4 INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA

Branqueamento é um tratamento térmico aplicado para inativar enzimas que catalisam reações que degradam produtos vegetais durante o armazenamento. Este tratamento térmico estabiliza alimentos devido à sua capacidade de destruir microorganismos e inativar enzimas (CRUZ et al., 2006).

A raiz de yacon se caracteriza por se deteriorar facilmente e pelo rápido escurecimento do suco ou de seus tecidos, quando se realiza uma má manipulação causando dano mecânico no produto (NEVES e SILVA, 2007). Uma vez que o yacon é uma planta sazonal torna-se importante à utilização de tratamentos tecnológicos específicos, tais como a inativação enzimática e a secagem, como realizado por Figueira et al. (2004) em chicória, a fim de preservá-lo e tê-lo disponível para processamento durante o ano inteiro.

As raízes de yacon escurecem rapidamente no armazenamento, corte, ou durante o processamento, e esta tendência pode estar relacionada ao seu índice fenólico, especialmente aos níveis de ácidos caféico e clorogênico, e à atividade endógena da PPO (LACHMAN et al., 2003 e YAN et al., 1999). O yacon apresenta uma coloração amarela claro ou amarelo intenso, devido à presença de pigmentos carotenóides (QUINTEROS, 2000).

Do ponto de vista prático, o controle do escurecimento enzimático é geralmente limitado à inativação pelo calor das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (PER), principais responsáveis pelas reações de escurecimento (CABELLO, 2005). Entre outros métodos propostos para a prevenção da oxidação, estão: desidratação, armazenamento a baixas temperaturas, tratamento térmico, utilização de antioxidantes, eliminação do oxigênio do meio, entre outros (LUPETTI et al., 2005).

Por outro lado, em se tratando do branqueamento do yacon, é importante avaliar as perdas dos sólidos hidrossolúveis como os frutanos e outros carboidratos, componentes importantes desta matéria-prima (QUINTEROS, 2000).

1.5 SECAGEM

A secagem por ar é um processo antigo usado para conservar os alimentos, onde o produto para ser seco é exposto em uma corrente de ar quente contínua, onde a umidade evapora (RATTI, 2001). Seu objetivo é conservar e eliminar por evaporação a maior parte da água presente no produto (OCHOA et al., 2002).

Este processo melhora a estabilidade dos alimentos, uma vez que reduz consideravelmente à atividade de água, minimizando as alterações físicas, químicas e microbiológicas durante o seu armazenamento (OCHOA et al., 2002; HATAMIPOUR et al., 2007).

A estabilidade dos alimentos e a atividade de água estão relacionadas em muitas situações. Em relação às reações químicas (Maillard, oxidação, enzimáticas, entre outras), as maiores velocidades de reação ocorrem em alimentos de umidade alta e intermediária o que é indesejável, e as velocidades de reações menores se encontram na faixa de 0,2 a 0,4 de a_w (FENNEMA, 1993). A a_w máxima que pode ser tolerada nos produtos desidratados sem induzir a perda de propriedades desejáveis oscila desde 0,35 até 0,5 dependendo do produto. No entanto, na faixa de atividade de água entre 0,2 e 0,5 não ocorre mais a proliferação de microrganismos (FENNEMA, 1993). Na Figura 3, pode-se verificar o efeito geral da atividade de água no crescimento microbiano.

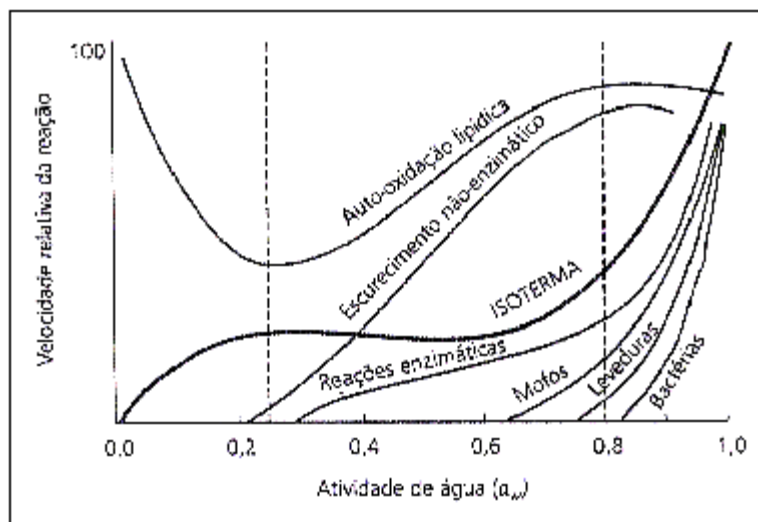


Figura 3. Relação entre a a_w , o crescimento microbiano e a velocidade de diversas reações.

Fonte: Ordóñez (2005).

A desidratação dos alimentos torna mais fácil o manuseio do produto devido à diminuição do volume e à perda de peso que os produtos são submetidos durante o processo (OCHOA et al., 2002).

O processo de secagem possui diferentes etapas: no início tem-se um período de taxa de secagem constante, até chegar a um teor de umidade denominado crítico, posterior a essa umidade começa o período de secagem decrescente, que no caso de alimentos se dá por difusão, até atingir a umidade de equilíbrio (GEANKOPLIS, 1982).

1.6 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visou estudar as características físico-químicas e o processo de desidratação sem e com branqueamento das raízes de yacon (*Smallanthus sonchifolius*).

1.7 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar o comportamento do yacon durante a secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C.

Estudar a inativação das enzimas PPO e PER mediante branqueamento por vapor e o efeito da secagem nas temperaturas de 50, 60 e 70°C sobre a concentração dos açúcares inulina, glicose e frutose.

Estudar a solubilização dos açúcares inulina, glicose e frutose presentes no yacon durante o branqueamento em água quente.

CAPÍTULO 2

Drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in hot air at different temperatures

Artigo a ser submetido para publicação na revista International Journal of Food Science & Technology e formatado de acordo com as normas desta revista.

Drying of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in hot air at different temperatures

Caroline Fenner Scher, Alessandro de Oliveira Rios & Caciano Pelayo Zapata Noreña*

Institute of Food Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil

Summary

The present work aimed to experimentally study the kinetics of drying yacon, peeled and cut into 1.75 ± 0.35 mm thick slices, with and without previous steam blanching for 4 minutes. The experimental trials were carried out in a forced air dryer at temperatures of 50, 60 and 70°C for 5 hours and 30 minutes. An analysis of the effects of the pre-treatment and the temperature on the reduction in moisture content and water activity showed that the shortest drying time was obtained at 70°C for samples pre-treated by blanching. The sugar content was also determined during the drying of the non-blanching samples, and it was found that the FOS were converted into reducing sugars at 70°C.

Keywords yacon, dehydration, blanching, fructooligosaccharides.

* Correspondent: Fax: +55-51-33087048;
e-mail: czapatan@ufrgs.br

Introduction

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is a perennial plant of the Asteraceae family that originated in the Andes Mountains and presents a relatively low energetic level despite its sweet taste (Cazetta *et al.*, 2005). It was introduced into Brazil at the start of the nineties, but its expressive consumption only started in mid-2000. The root has become popularly known as yacon potato (Moscatto *et al.*, 2004).

The yacon roots, like artichoke, Jerusalem artichoke and sunflower potato, are tubers, similar to sweet potato in appearance, and they normally have a sweet taste due to the abundance of soluble carbohydrates such as fructose, glucose, sucrose and fructooligosaccharides or inulin (PD 3-10) (Grau & Rea, 1997). However, the roots show a lack of starch, making them of potential benefit in the diet of diabetics (Lachman *et al.*, 2003). They also show some health stimulating effects due to the high fructooligosaccharide content, such as improving the intestinal balance of the micro-flora (Takenaka *et al.*, 2003). Some authors have recommended the consumption of yacon by diabetics and other people with digestive problems, since its sugars are not metabolized in the small intestine (Lachman *et al.*, 2003).

According to Van Loo *et al.* (1995) inulin is present in various cereals (wheat, barley), vegetables (onion, leek, garlic, asparagus, viper's grass) and fruits (banana), confirming its position as a natural ingredient in the human diet. Inulin and the oligofructans are prebiotic fibers extracted from roots such as yacon and chicory (Bosscher *et al.*, 2006). Passos & Park (2003) reported that fructooligosaccharides are considered to be prebiotic since they selectively promote the growth of probiotics such as *Acidophilus* and *Bifidus*. This characteristic results in the FOS promoting a series of benefits to human health, from the

reduction in serum cholesterol to aiding in the prevention of some types of cancer (Passos & Park, 2003).

Since yacon is a seasonal plant, it is important to use specific technological treatments, such as enzymatic inactivation and drying as carried out by Figueira *et al.* (2004) in chicory, in order to preserve it and make it available for processing throughout the whole year.

The dehydration process improves the stability of foods, since it considerably reduces the water activity, minimizing the physical, chemical and microbiological alterations during storage (Hatamipour *et al.*, 2007).

Graefe *et al.* (2004) studied the variation in FOS in post-harvest yacon dehydrated in the sun for 6 days. The authors showed that during this period, the increase in sweetness was due to sugar de-polymerization, such technology being appropriate when the consumption of the yacon is not with a view to a dietetic application. Thus for greater conservation and stabilization of the FOS, dehydration of yacon should be as quick as possible after harvest (Graefe *et al.*, 2004).

The yacon roots darken very quickly during processing and/or storage, and this tendency could be related to its phenolic index, especially the chlorogenic and caffeic acid contents and the endogenous polyphenoloxidase (PPO) activity (Yan *et al.*, 1999 & Lachman *et al.*, 2003).

The oxidation of phenols occurs in the presence of free oxygen, with a rapid browning of the recently cut surface of the tubers, prejudicing their appearance and that of their products (Cabello, 2005). In addition, enzymatic inactivation improves the color of the products, impeding discoloration, making the products more attractive for consumption and increasing their luminosity (Agüero *et al.*, 2008). Pedreschi *et al.* (2007), in a study with potatoes, affirmed that a longer blanching time followed by a lower drying temperature resulted in better color retention and led to a reduced browning index of the potatoes.

The loss of important nutrients during blanching is mainly caused by leaching. The nutrients lost are mostly water soluble ones and thus the losses are greater with blanching in hot water than by steam blanching (Kramer & Smith, 1947).

The objective of this research was to study the kinetics of drying *in natura* yacon and of blanched in hot air at temperatures of 50, 60 and 70°C.

Material and methods

Material

The yacon (*Smallanthus sonchifolius*) tubers were cultivated in the State of São Paulo, Brazil, and acquired from the Supply Centers of the State of Rio Grande do Sul in the city of Porto Alegre, Brazil. The roots were cleaned and selected considering the absence of visible injury and infection and also uniformity in size and color, and were then stored under refrigeration ($8\pm 2^\circ\text{C}$) until used.

Experimental procedure

The yacon tubers were peeled and cut into slices with an average thickness of 1.75 ± 0.35 mm using a vegetable slicer. Steam blanching (100°C) was carried out for 4 minutes, followed by cooling in an ice bath for 3 minutes. Yacon slices, with and without blanching, were then uniformly distributed on stainless steel mesh trays and dried in a forced air dryer at temperatures of 50, 60 and 70°C .

The loss in weight of the material during drying was determined by weighing every 5 minutes during the first 2 hours, then every 10 minutes during the next 2 hours and finally

every 15 minutes for the rest of the drying period until reaching constant weight, with a total drying time of 5 hours and 30 minutes. The water activity (a_w) was also measured during drying, measuring it every 15 minutes during the first 2 hours and then every 30 minutes up to the end of the drying period. The drying tests were carried out in triplicate for every air temperature studied.

Analytical determinations

The analyses were carried out on both the *in natura* and dehydrated samples. The pH was determined using a digital pH meter according to the AOAC (2000) method n° 981.12, and the soluble solids in a refractometer (Atago, NAR T3, Atago Co.Ltd., Tokyo, Japan) at 20°C according to the AOAC (2000) method n° 932.12. The total and reducing sugar contents were determined using the AOAC (1984) method n° 31.034-6, and acidity by titration using a sodium hydroxide solution according to the AOAC (2000) methodology n° 942.15. Water activity (at 25°C) was determined by measuring directly in a water activity instrument (Aqualab 3TE-Decagon, Pullman, USA), and the moisture content according to the AOAC (1984) method n° 984.25.

All the analyses were carried out in triplicate, and the comparison between treatments made using Tukey's multiple comparison means test. ANOVA was used for the statistical analysis with the aid of the SAS 6.2 PROGRAM (SAS Institute, 1993).

Results and discussion

Raw material

The moisture content of the roots was $88.69\pm 0.10\%$, percentage close to the values found by Lachman *et al.* (2003), who found values between 69.5% and 92.7%; Ohyoma *et al.* (1990), of 86.3%; Valentová & Ulrichová (2003), of from 70 to 93%; and Vilhena *et al.* (2000), of 85.93%. The water activity of the fresh roots was high, typical of fresh products, showing values of 0.994 ± 0.001 , a value similar to that found by Michels (2005), of 0.991.

With respect to the soluble solids contents, the roots presented values of $9.9\pm 0.01^\circ\text{Brix}$, in agreement with values reported by Hermann *et al.* (1998), which varied from 9.9 to 12.6°Brix , and by Manrique *et al.* (2005), of from 8 to 12°Brix .

With respect to total titratable acidity, the fresh yacon presented values of $1.62\pm 0.10\text{ml}/100\text{g}$ of sample, this value being higher than that found by Vilhena *et al.* (2000), of $1.28\text{ml}/100\text{g}$ yacon. However few papers reporting values for the acidity of yacon are available. With respect to pH, the value found was 6.09 ± 0.01 , Vilhena *et al.* (2000) and Ribeiro (2008) having found values for pH of 5.53 and 5.87 respectively.

The percentage of sugars in the dry mass (d.m.) was $49.16\pm 0.38\%$ for reducing sugars, $70.56\pm 0.0\%$ for total sugars and $21.17\pm 0.83\%$ for non-reducing sugars. Lachman *et al.* (2003) and Vilhena *et al.* (2000) reported values of 67.53% and 63.18% for total sugars respectively. The main carbohydrate present in yacon is the sugar in the form of oligofructans or fructooligosaccharides (FOS), which are short fructose polymers with a degree of polymerization of from 3-10 fructans (Goto *et al.*, 1995). Other carbohydrates stored in yacon tubers include fructose, glucose and sucrose (Graefe *et al.*, 2004).

Vilhena *et al.* (2001) concluded that the variation in the amounts of fructans and reducing sugars in the plant depended on the harvesting time, the maximum amount of fructans being found from 7 to 8 months after planting. Seminário *et al.* (2003) also explained that the composition of the sugars in yacon varied significantly as a function of factors such as cultivar, planting and harvesting times, and the post-harvest time and temperature.

Drying curves

Figures 1 and 2 show the drying curves with and without blanching. For the three temperatures studied it can be seen that the moisture contents decreased with time until becoming constant.

In Figure 1 it can be seen that the moisture content fell rapidly in the first 100 minutes of drying, the fall being greater, the higher the temperature. Figueira *et al.* (2004) mentioned that the increase in drying velocity with increase in temperature was due to the decrease in external resistance and greater water transference during the first stages of drying. Kaya *et al.* (2008) also indicated that an increase in drying air temperature increased the rate of heat transfer and consequently decreased the total drying time. The drying temperature plays an important role in the total drying time (Koyuncu *et al.*, 2007). Similar observations were reported for a study carried out with carrot and squash, where drying was also quicker at 70°C (Pinedo & Murr, 2005).

The losses in water subsequently decreased until the units became constant. These units corresponded to 0.075, 0.069 and 0.058g/100g (m.d.) at temperatures of 50, 60 and 70°C respectively.

The same behavior can be observed in Figure 2, where the yacon was submitted to blanching before drying. In this case the moisture content decreased rapidly in the first 75 minutes, the loss in moisture being greater, the higher the temperature employed. After this period the loss in moisture slowed down until the moisture contents of the samples became constant.

When comparing the moisture content losses during drying for blanched and non-blanched yacon samples, it can be seen that, for the same temperature, the samples that had suffered enzymatic inactivation showed greater moisture losses than the non-inactivated

samples, since this contributed to an increase in surface exchange and hence to a greater drying velocity (Figueira *et al.*, 2004). According to Kompany *et al.* (1990), the greater drying velocity observed in the pre-treated samples was due to the fact that the blanching favorably modified the initial structure of the raw material, improving moisture transference and increasing the drying velocity.

At all the drying temperatures, the blanched samples reached constant units in a shorter time than the non-blanched samples, since mass transfer increased after this treatment and the continued decrease in moisture content indicated that diffusion controlled internal mass transfer in the product (Kingsly *et al.*, 2007). This result was similar to that found by Hatamipour *et al.* (2007) who carried out enzymatic inactivation followed by drying in potatoes, and found that after blanching drying occurred quicker than with the non-blanched samples, and that the higher the temperature used for enzymatic inactivation, the shorter the subsequent drying time. This pre-treatment, in addition to decreasing the drying time, resulted in good quality dehydrated products (Piga *et al.*, 2004).

With respect to water activity, Figure 3 shows that for the three temperatures there was an initial period where the a_w did not change, this period being longest at 50°C. After this period the a_w decreased rapidly, being quicker the higher the temperature. This indicated that the greatest amount of free water was removed during this period. Finally the a_w decreased very slowly until becoming constant. The final values for the a_w of the dehydrated yacon without blanching were 0.389 ± 0.03 , 0.375 ± 0.05 and 0.338 ± 0.07 for the temperatures of 50, 60 and 70°C respectively.

Figure 4 shows that the behavior of the blanched samples was similar to that of the non-blanched samples, although the initial period, where there is no significant decrease in the a_w values, was shorter, and the times taken to reach constant a_w values were also shorter.

It was concluded that the effect of blanching was to decrease the a_w of the samples quicker as compared to non-blanching samples. This is due to the fact that blanching modifies the physical properties of the tissues, as heating also destroys the cell membrane (Halpin & Lee, 1987) and modifies the physical properties such as porosity of the raw material (Pinedo & Murr, 2005).

The values for moisture content and water activity at equilibrium under dynamic conditions during drying can be found in the figures above, which correspond to the last period of drying, where the values for moisture content and a_w remain constant (see table 1).

Analyses of the sugar contents of non-blanching samples after drying

Table 2 shows the values obtained for non-reducing, reducing and total sugars, soluble solids ($^{\circ}$ Brix), acidity and pH of the non-blanching samples after drying for 5h 30min.

With respect to the non-reducing sugars, the lowest concentration was obtained at 70°C and was significantly different ($p < 0.05$) from the values obtained at 50°C and 60°C. This result could indicate the occurrence of hydrolysis of the FOS at 70°C, a fact that can be verified by a significant increase in reducing sugar content. The decrease in non-reducing sugars could not be a consequence of their taking part in condensation reactions, since Nitschke & Umbelino (2002) mentioned that fructooligosaccharides are non-reducing and present the advantage of not being susceptible to the Maillard reaction and of being stable at pH values above 3 and at temperatures of up to 140°C, not being degraded by the majority of heat processes employed in the food industry.

There were no significant differences for reducing and non-reducing sugars at temperatures of 50 and 60°C, and for total sugars there were no significant differences at any of the temperatures studied ($p > 0.05$).

The final concentrations of soluble solids increased significantly with increase in temperature ($p < 0.05$). This fact can be explained by the removal of free water, increasing the concentrations of these solids, since, according to Graefe *et al.* (2004), a loss of water from the roots increases the proportion of soluble solids in the samples.

With respect to pH and total titratable acidity of the dehydrated product, a significant difference ($p < 0.05$) was found at all the temperatures studied. When the ratio between the soluble solids and total titratable acidity was calculated for the yacon *in natura*, a value of 6.10 was obtained, whilst for the dehydrated samples, values of 2.42, 3.73 and 2.54 were obtained at temperatures of 50, 60 and 70°C, respectively. Krolow (2007) mentioned that the higher this ratio, the better the equilibrium between sweet and acid, conferring a more agreeable taste.

Conclusions

Since yacon is a tuber with a high water activity of 0.994 ± 0.001 , the dehydration process becomes a viable alternative to increase its shelf life. Drying was carried out using peeled samples cut into 1.75 ± 0.35 mm thick slices, with and without a prior steam blanching. The results indicated that the losses in moisture content and water activity were quicker the higher the temperature used and using blanched samples. At equilibrium, the water activity values attained by the yacon, with and without blanching, were below 0.389.

With respect to the sugar content of the dehydrated non-blanched yacon, a conversion of FOS into reducing sugars was observed at 70°C.

Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the financial support of ‘Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior’ (CAPES).

References

- Agüero, M.R., Ansorena, S.I. & Roura, C.E.V. (2008). Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. *Food Science and Technology*, **41**, 401–407.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (1984). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC: AOAC.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC) (2000). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Washington, DC: AOAC.
- Bosscher, D., Van Loo, J. & Franck, A. (2006). Inulin and oligofructose as functional ingredients to improve boné mineralization. *International Dairy Journal*, **16**, 1092–1097.
- Cabello, C. (2005). Extração e Pré-Tratamento Químico de Frutanos de Yacon, *Polymnia sonchifolia*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **25**, 202-207.
- Cazetta, M.L., Martins, P.M.M., Monti, R. & Contiero, J. (2005). Yacon (*Polymnia sonchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* var.*bulgaricus*. *Journal of Food Engineering*, **66**, 301–305.
- Figueira, G.M., Park, K.J., Brod, F.P.R. & Honório, S.L. (2004). Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. *Journal of Food Engineering*, **63**, 273–280.
- Goto, K., Fukai, K., Hikida, J., Nanjo, F. & Hara, Y. (1995). Isolation and structural analysis of oligosaccharides from Yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry*, **59**, 2346–2347.
- Graefe, S., Hermann, M., Manrique, I., Golombek, S. & Buerkert, A. (2004). Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crops Research*, **86**, 157–165.
- Grau, A. & Rea, J. (1997). Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson]. Andean roots and tuberous roots: ahipa, arracacha, maca and yacon. In *Promoting the Conservation and Use of Underutilized Crops*; Hermann, M., Heller, J., Eds.; IPK, Gatersleben/IPGRI: Rome, **174**, 199-256.

- Halpin, B.E. & Lee, C.Y. (1987). Effect of blanching on enzyme activity and quality changes in green peas. *Journal of Food Science*, **52**, 1002-1005.
- Hatamipour, M. S., Kazemi, H. H., Nooralivand, A. & Nozarpoor, A. (2007). Drying Characteristics of Six Varieties of Sweet Potatoes in Different Dryers. *Food and Bioproducts Processing*, **85**, 171–177.
- Hermann, M., Freire, I. & Pazos, C. (1999). Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world. Program Report 1997–1998. *Centro Internacional de La Papa (CIP)*, Lima, Peru, pp. 425–432.
- Kaya, A., Aydın, O. & Dincer, I. (2008). Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). *Journal of Food Engineering*, **88**, 323–330.
- Kingsly, R.P., Goyal, R.K., Manikantan, M.R. & Ilyas, S.M. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behaviour of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, **42**, 65–69.
- Kompany, E., Allaf, K., Bouvier, J.M., Guigon, P. & Maureaux, A. (1990). Nouveau procédé de déshydratation des fruits et légumes à réhydratation instantanée. *Industries Alimentaires et Agricoles*, Pp. 1243-1248.
- Koyuncu, T., Tosun, I. & Pınar, Y. (2007). Drying characteristics and heat energy requirement of cornelian cherry fruits (*Cornus mas* L.). *Journal of Food Engineering*, **78**, 735–739.
- Kramer, A. & Smith, M. H. (1947). Effect of duration and temperature of blanch on proximate and mineral composition of certain vegetables. *Industrial and Engineering Chemistry*, **39**, 1007–1009.
- Krolow, A.C. (2007). Avaliações físicas e químicas de morango cv. Aromas produzidos em sistema orgânico e convencional. *Revista Brasileira de Agroecologia*, **2**, 1732-1735.
- Lachman, J., Fernández, E.C. & Orsák, M. (2003). Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use – a review. *Plant Soil Environ*, **49**, 283–290.
- Manrique, I., Parraga, A. & Hermann, M. (2005). Jarabe de Yacón: Principios y Procesamiento. Series: Conservacion y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Uma década de investigación para el desarrollo (1993-2003). 8A. International potato center Univesidad Nacional Alcides Carrión. Erbacher Foundation. Swiss Agency for Development and Cooperation: Lima, Peru, Pp. 31.

- Michels, I. (2005). Aspectos tecnológicos do processamento mínimo de tubérculos de yacon (*Polymnia sonchifolia*) armazenados em embalagens com atmosfera modificada. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Pp. 91.
- Moscato, J.A., Prudêncio-Ferreira, S.H. & Hauly, M.C.O. (2004). Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **24**, 634-640.
- Nitschke, M. & Umbelino, D.C. (2002). Frutooligossacarídeos: novos ingredientes funcionais. *Boletim SBCTA*, **36**, 27-34.
- Ohyama, T., Ito, O., Yasuyoshi, S., Ikarashi, T., Minamisawa, K., Kubota, M., Tsukihashi, T. & Asami, T. (1990). Composition of Storage Carbohydrate in Tubers of Yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition*, **36**, 167-171.
- Passos, L.M.L. & Park, Y.K. (2003). Frutooligossacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. *Ciência Rural*, **33**, 385-390.
- Pedreschi, F., Leon, J., Mery, D., Moyano, P., Pedreschi, R., Kaack, K. & Granby, K. (2007). Color development and acrylamide content of pre-dried potato chips, *Journal of Food Engineering*, **79**, 786-793.
- Piga, A., Pinna, I., Ozer, K.B., Agabbio, M. & Aksoy, U. (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying kinetics and quality loss. *International Journal of Food Science and Technology*, **39**, 793-799.
- Pinedo, A.A. & Murr, F.E.X. (2005). Influência da Pressão, Temperatura e Pré-Tratamentos na Secagem a Vácuo de Cenoura e Abóbora. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **25**, 636-643.
- Ribeiro, J.A. (2008). Estudos Químico e Bioquímico do Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influencia do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. Pp. 166.
- SAS, Institute (1993). *STAT Guide for Personal Computers*. Cary: Statistical Analysis System Institute.
- Seminário, J., Valderrama, M. & Manrique, I. (2003). El Yacon: fundamentos para el aprovechamiento de um recurso promisorio. *Centro Internacional de La Papa (CIP)*, Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, Pp. 60.

- Takenaka, M., Yan, X., Ono, H., Yoshida, M., Nagata, T. & Nakanishi, T. (2003). Caffeic Acid Derivatives in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **51**, 793-796.
- Valentová, K. & Ulrichová, J. (2003). *Smallanthus Sonchifolius* and *Lepidium Meyenii* – Prospective Andean Crops for the Prevention of Chronic Diseases. *Biomedical Papers*, **147**, 119–130.
- Van Loo, J., Coussement, P., Leenheer, L., Hoebregs, H. & Smits, G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **35**, 525-552.
- Vilhena, S.M.C., Câmara, F.L.A. & Kakihara, S.T. (2000). O cultivo de Yacon no Brasil. *Horticultura Brasileira*, **18**, 5-8.
- Vilhena, S.M.C., Câmara, F.L.A. & Lima, G.P.P. (2001). Ciclo de cultivo de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl) em função do conteúdo de frutanos nos órgãos subterrâneos. In: *II Simposio Latinoamericano de Raices y Tubérculos*. Lima (Perú), Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Yan, X., Suzuki, M., Ohnishi-Kameyama, M., Sada, Y., Nakanishi, T. & Nagata, T. (1999). Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **47**, 4711-4713.

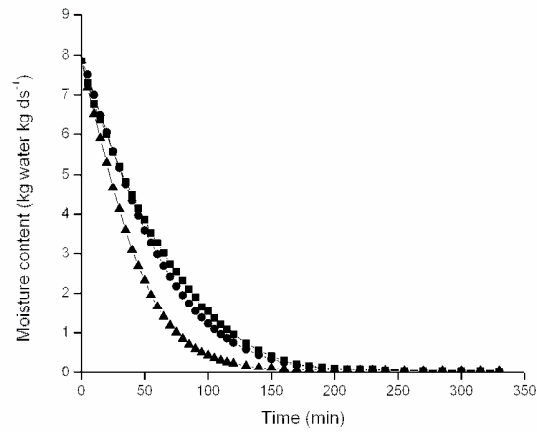


Figure 1 Moisture content (dry basis) as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for non-blanché yacon. (■) 50°C, (●) 60°C and (▲) 70°C.

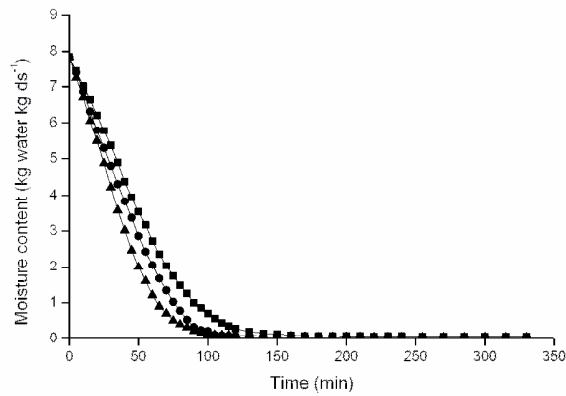


Figure 2 Moisture content (dry basis) as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for blanché yacon. (■) 50°C (●) 60°C and (▲) 70°C.

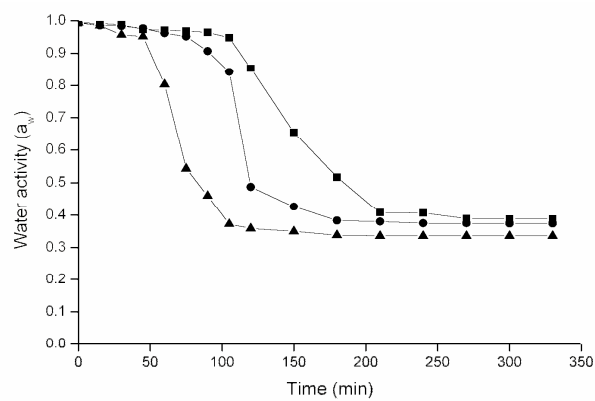


Figure 3 Water activity as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for non-blanché yacon. (■) 50°C, (●) 60°C and (▲) 70°C.

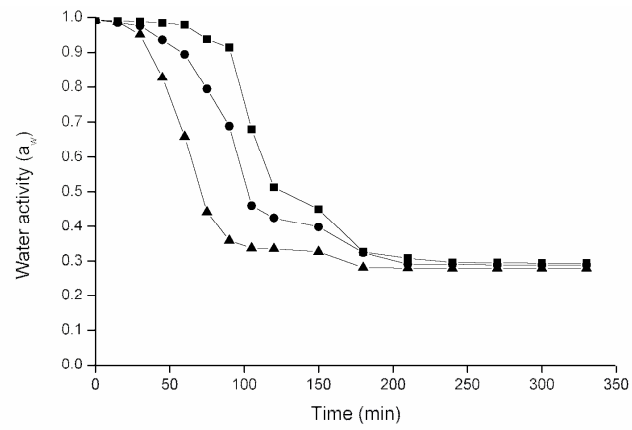


Figure 4 Water activity as a function of drying time at temperatures of 50, 60 and 70°C for blanched yacon. (■) 50°C, (●) 60°C and (▲) 70°C.

Table 1 Values for moisture content and water activity at equilibrium in yacon slices with and without blanching

<i>Drying temperature</i> (°C)	<i>Pre-treatment</i>	<i>Time to reach equilibrium</i> (min)	<i>a_w</i>	<i>Moisture content at equilibrium</i> (DWB)
50	Non-blanched	270	0.389±0.03	0.075±0.009
	Blanched	240	0.296±0.05	0.067±0.011
60	Non-blanched	240	0.375±0.05	0.069±0.010
	Blanched	210	0.291±0.04	0.055±0.008
70	Non-blanched	200	0.338±0.07	0.058±0.009
	Blanched	180	0.281±0.06	0.051±0.004

Table 2 Sugar (dry weight basis), soluble solids, acidity and pH in non-blanched dehydrated yacon slices

<i>Temperature</i>	<i>Reducing sugars (%)</i>	<i>Non-reducing sugars (%)</i>	<i>Total sugars (%)</i>	<i>°Brix</i>	<i>Acidity (%)</i>	<i>pH</i>
50°C	36.65±0.54 ^a	31.62±0.55 ^a	69.63±0.59 ^a	13.4±0.12 ^a	5.53±0.16 ^a	6.28±0.02 ^a
60°C	37.49±0.56 ^a	31.81±0.06 ^a	71.14±0.62 ^a	15.2±0.17 ^b	4.08±0.01 ^b	6.38±0.05 ^b
70°C	44.10±0.96 ^b	26.18±0.29 ^b	70.33±0.62 ^a	16.9±0.29 ^c	6.64±0.34 ^c	6.0±0.01 ^c

Values expressed as the mean ± standard deviation of the mean on a dry weight basis.

The same letters in the same column indicate no significant difference ($p \leq 0.05$).

CAPÍTULO 3

Study of Enzyme Inactivation Using Steam and the Concentration of Sugars in Dehydrated Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Roots

Artigo a ser submetido para publicação na revista Food Science and Technology International e formatado de acordo com as normas desta revista.

*Study of Enzyme Inactivation Using Steam and the Concentration of Sugars in Dehydrated
Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Roots*

C.F. Scher, A.O. Rios, L. Fante and C.P.Z. Noreña*

Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

91501-970

Porto Alegre, BRAZIL

The inactivation of the enzymes polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (PER) and subsequent drying of yacon roots, with and without prior blanching, was studied. The yacon roots were washed and peeled, cut into 1.75 ± 0.35 mm slices, and placed in wire baskets inside an autoclave generating steam at a temperature of 100°C for 1, 2, 4, 6, 8 and 10 minutes. The best condition was with a time of 4 minutes, where it was possible to reduce the activity of PER and PPO by 84.6% and 83.7%, respectively, with losses of inulin, glucose and fructose of 30.6, 39.4 and 15.8%, respectively. Air drying of the samples with and without prior blanching was subsequently evaluated at temperatures of 50, 60 and 70°C for 300 minutes, where the inulin concentration further decreased, whereas the glucose and fructose concentrations increased, and at the end of the drying period, the values of these components did not vary according to the temperature used for either the blanched or non-blanched samples. The increase in the reducing sugar concentration could be due to activity of the enzyme inulinase.

Key words: yacon, enzyme inactivation, steam, dehydration, inulin

* *To whom correspondence should be sent*
(*e-mail:* czapatan@ufrgs.br). *Tel:* 55-51-3308-6673

INTRODUCTION

Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) belongs to the Asteraceae family and is a native Andean plant cultivated for its tubers, which are commonly used as a food in South America. Traditionally, yacon tubers and dried leaves are recommended for people suffering from diabetes or from other digestive or renal disorders (Valentová and Ulrichová, 2003).

The main sugar present in yacon is sugar in the form of oligosaccharides and fructooligosaccharides (FOS), that consist of short chains of fructose units linked by β (2 \rightarrow 1)-glucosidic bonds (Hermann et al., 1998). They carry a single D-glucosyl unit at the non-reducing end of the α (1 \rightarrow 2) chain as in sucrose and are thus of the inulin type (Goto et al., 1995; Hermann et al., 1998).

The β (2 \rightarrow 1) bonds prevent the FOS from being digested in the colon, since humans have no enzymes to hydrolyze them (Niness, 1999). Another health benefit ascribed to FOS is their bifidogenic nature, leading to enhancement of the growth of beneficial microflora (bifidobacteria) in the colon (Niness, 1999). Since the yacon roots contain little starch, they are potentially of benefit for the diet of diabetics (Neves and Silva, 2007). Other carbohydrates found in the yacon root are fructose, glucose and sucrose (Graefe et al., 2004).

Cândido and Campos (1996) mentioned that inulin was a non-reducing carbohydrate and thus could not take part in the Maillard reactions, and was moderately soluble in water at room temperature, but very soluble at temperatures of 50 to 60°C.

Inulin is present in more than 30,000 vegetable products (Robinson et al., 1995), such as cereals (wheat, barley), vegetables (onion, leek, garlic, asparagus) and fruits (banana), confirming its position as a natural ingredient in the human diet (Van Loo et al., 1995). This compound can be used as a fat or sugar substitute (Figueira et al., 2004).

Yacon roots are traditionally consumed raw or after exposition to the sun for a few days, a treatment used to increase the sweetness of the roots (Rea, 1994; Grau and Rea, 1997). Some organoleptic definitions have been attributed to the roots such as succulence and crispness, similar to radish or apple, and they present a mild, but agreeably sweet, resinous taste (Hermann et al., 1998).

Different studies have shown that soon after harvest, a rapid enzyme hydrolysis of the FOS into simple sugars (glucose, fructose and sucrose) occurs (Graefe et al., 2004). However the conversion rate is slower if the yacon is stored at refrigeration temperatures. Low temperatures are useful to reduce deterioration of the roots during storage (Manrique and Párraga, 2005). However to obtain maximum benefit of the FOS, yacon is best consumed soon after harvest (Graefe et al., 2004).

The yacon roots darken rapidly during processing and/or storage and this can be related to its phenolic index, especially to its chlorogenic and caffeic acid contents, and the endogenous polyphenoloxidase (PPO) activity (Yan et al., 1999; Lachman et al., 2003). Neves and Silva (2007) studied the inactivation of the polyphenoloxidase extracted from yacon roots at temperatures between 60 and 90°C, and showed that the enzyme was stable between 60 and 70°C, with progressive inactivation when incubated at 80 and 90°C. The control of enzymatic browning is generally limited to the heat inactivation of enzymes such as polyphenoloxidase and peroxidase (Cabello, 2005).

Hot water blanching is by far the most popular process adopted commercially, since it is simple and economic. However a prolonged blanching in hot water results in a considerable loss of nutrients, such as carbohydrates, proteins, minerals, vitamins and water soluble sugars (Lee, 1958). The loss of important nutrients during blanching is caused mainly by diffusion or leaching. These nutrients are mostly water soluble and, as a result, result in greater losses during hot water blanching than steam blanching (Kramer and Smith, 1947). An important

physicochemical property of pure inulin is that it is almost insoluble in cold water, but easily soluble in hot water (Vendrell-Pascuas et al., 2000).

The objective of the present work was to study the inactivation of the enzymes PPO and PER by steam blanching and the effect of drying at temperatures of 50, 60 and 70°C on the concentration of the sugars inulin, glucose and fructose.

MATERIAL AND METHODS

Materials

The yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots were cultivated in the State of São Paulo, Brazil, and acquired from Supply Centers (Ceasa) in the State of Rio Grande do Sul in the city of Porto Alegre, Brazil. The roots were cleaned and selected considering the absence of visible injury and infection and also uniformity in size and color, and were then stored under refrigeration ($8\pm 2^\circ\text{C}$) until used.

Experimental Procedure

The yacon roots were peeled and cut into slices with an average thickness of 1.75 ± 0.35 mm using a vegetable slicer. The samples were then blanched by placing the slices in a basket in an autoclave generating steam at 100°C and atmospheric pressure, for times of 1, 2, 4, 6, 8 and 10 minutes. After blanching, the samples were rapidly cooled in an ice bath for 3 minutes. The effect of blanching time on the activities of polyphenoloxidase (PPO) and peroxidase (PER) was evaluated at this stage with the objective of determining the best inactivation time. After choosing the best blanching condition, yacon slices, with and without

blanching, were uniformly distributed on stainless steel mesh trays and dried in a forced air dryer at temperatures of 50, 60 and 70°C, removing samples for the analysis of the sugars inulin, glucose and fructose after 5 hours of drying.

Determination of the Activities of Polyphenoloxidase (PPO) and Peroxidase (PER)

After steam blanching, the yacon samples were immediately immersed in iced water (0-4°C) for 3 minutes (Agüero, 2008). The PPO activity was determined by the method described by Teisson (1979) using a Shimadzu UV-visible spectrophotometer. The samples were first blended using an homogenizer to obtain the enzyme extract, and then vacuum filtered through Whatman n° 1 filter paper to remove larger particles, centrifuged at 1680g for 15 minutes at 4°C, and the supernatant vacuum filtered through Whatman n° 1 paper to obtain the enzyme extract. From this extract, 0.5 mL were mixed with 1.8 mL of 0.1M phosphate buffer (pH 7.0) and 0.05 mL 10 mM catechol, and incubated at 30°C for 30 minutes. The reaction was stopped by the addition of 0.8 mL 2N perchloric acid and the absorption measured at 395 nm in the UV-visible spectrophotometer. One unit of PPO activity was defined as that causing an increase of 1 unit of absorbance per minute/g, or $0.001 \times A_{395} \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ of extract.

The PER activity was determined according to the AOAC (1990) methodology, in which 3 mL of enzyme extract (the same as that used for PPO activity) were mixed with 5 mL phosphate buffer (0.1M, pH 5.0), 0.5 mL 3% hydrogen peroxide and 0.5 mL guaiacol. This mixture was incubated at 30°C for 5 minutes, after which the reaction was stopped by the addition of 1 mL 30% sodium bisulphate and the absorbance read at 470 nm. One unit of enzyme activity was defined as that causing a change in absorbance of $1 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1}$ enzyme extract. Each sample was assayed in triplicate.

Sample Preparation for the Sugar Determination

The samples were prepared by an adaptation of the method described by Toneli et al. (2007), employed for the extraction of inulin from chicory roots. Ten grams (10g) of sample were ground with 50 mL hot (90°C – for a better extraction of the inulin) deionized water, using a multi-food processor. The product was heated in a water bath at 80°C for 1 hour with constant stirring. The suspension was then cooled to room temperature and centrifuged in a Hermle Z 323K centrifuge for 15 minutes at 25°C at 1680g. The supernatant was first filtered through Whatman n° 1 paper and then through a 22µm membrane filter. The filtrates were frozen and stored at -18°C. For the analyses, the frozen samples were pre-heated at 80°C and then placed in a Thorton ultra-sound bath for 10 minutes before injecting into the HPLC equipment.

Determination of the Sugar Concentrations by HPLC

The inulin, glucose and fructose contents of the yacon were determined by an adaptation of the method described by Zuleta and Sambucetti (2001), with the direct determination by high performance liquid chromatography using a Perkin Elmer series 200 chromatograph equipped with a refractive index detector (HPLC-RI) and Milli-Q water as the mobile phase at 0.6 mL/min, temperature of 80°C and a Phenomenex rezex RHM monosaccharide column, 330 x 7.8 mm, with a total run time of 13 minutes. The retention times were 6.85 minutes for inulin, 9.73 minutes for glucose and 10.374 minutes for fructose. All the determinations were carried out in duplicate.

Determinations of the Total and Reducing Sugars and the Moisture Content

These analyses were carried out on the samples *in natura*. The total and reducing sugar contents were determined using AOAC (1984) method n° 31.034-6, and the moisture content using AOAC (1984) method n° 984.25. All these analyses were carried out in triplicate.

Statistical Analyses

The treatments were compared with respect to the operations of blanching and drying using Tukey's multiple comparison means test and ANOVA. The statistical tests were carried out using the software SAS 6.2 (SAS Institute, 1993).

RESULTS AND DISCUSSION

Enzymatic Browning

Figure 1 shows the loss of activity of the enzymes PPO and PER with time when submitted to steam blanching at 100°C. It can be seen that both enzymes rapidly lost activity during the first 2 minutes, followed by a continuous, but slower loss up to 10 minutes of blanching. The initial PPO and PER activities of the fresh yacon were $25.3 \pm 0.26 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ and $22.0 \pm 0.49 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$, respectively, and after 10 minutes of blanching these values fell to 3.2 and 2.3 $\text{U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ respectively, representing an 87.3% loss of PPO activity and 89.3% loss of PER activity, neither enzyme being completely inactivated by the steam blanching process.

Ribeiro (2008) found values of 81.5 and 53.2 $\text{U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ for PPO and PER, respectively, in yacon pulp. According to Aguëro (2008), the great variability in activity of

PER in the fresh raw material can be attributed to intrinsic factors and to pre- and post-harvest factors, which could be related to field conditions, handling during the harvest and transport, and others. Ribeiro (2008) also measured the activities of the enzymes in the yacon skin, presenting values of $300.2 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ for PPO and $1560.6 \text{ U g}^{-1} \text{ min}^{-1}$ for PER.

Quinteros (2000) recommended the use of a combined treatment of heat plus ascorbic acid in the blanching of yacon, since the enzyme PPO was not completely inactivated by 20 minutes of steam blanching, due to its high heat resistance. The author found an inactivation value of 79% for PPO, lower than the value found in the present study.

Quijano et al. (2002) carried out a study of the storage of yacon at 4°C and 22°C and observed that the activities of peroxidase (PER) and polyphenoloxidase (PPO) were significantly lower at 4°C . At 22°C , the activity of PER increased progressively with storage time, and on the fifteenth day was three times higher than at 4°C . For PPO the activity peaked on the 6th day at 22°C and on the 9th day at 4°C .

Bezerra (2002), working with cassava roots, also failed to completely inactivate the enzymes polyphenoloxidase and peroxidase by blanching in boiling water for 30 seconds. However, browning of the roots was effectively controlled up to the 15th day of storage. The values for PPO activity varied from 34.73 to $91.98 \text{ U.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$, and for PER from 49.89 to $105.97 \text{ U.g}^{-1}.\text{min}^{-1}$ during the storage period.

Troiani et al. (2003) studied the inactivation of enzymes in three different grape cultivars submitted to heat treatments of 60°C , 65°C , 70°C and 75°C for times varying from 1 to 10 minutes, and also failed to completely inactivate the enzymes. The authors reported PER inactivation of between 35 and 60% and PPO inactivation of between 25 and 50%.

Tukey's test was used to evaluate the effect of blanching time on the percent inactivation of PPO and PER and showed no significant ($p>0.05$) difference between the times of 2, 4, 6 and 8 minutes, but a significantly greater inactivation for a time of 10 minutes.

However, since the slices were cut very thin, a time of 10 minutes was sufficient to start cooking them. Thus a blanching time of 4 minutes was chosen for subsequent drying.

Concentration of Sugars in the Raw Material

The raw yacon roots showed a moisture content of $88.69\pm 0.1\%$, and various other authors reported values of between 83 and 90% (Seminário et al., 2003). The percentage of sugars in the dry mass (d.m.) was $49.1\pm 0.38\%$ for reducing sugars, $70.5\pm 0.0\%$ for total sugars and $21.1\pm 0.83\%$ for non-reducing sugars. Lachman et al. (2003) and Vilhena et al. (2000) reported values of 67.5% and 63.1%, respectively, for total sugars.

The initial inulin percentage in the yacon was $6.9\pm 0.04\%$ d.m., in agreement with values reported by Cazetta et al. (2005) and Gibson et al. (1994) who found values between 3-10% and 3-19%, respectively, in yacon roots.

Lachman et al. (2004) mentioned that the highest inulin concentrations were found in the upper parts of the tubers, whereas higher fructose concentrations were found in the lower parts. These differences could be related to the hydrolysis of fructans in different parts of the tubers (Fukai et al., 1997), since the yacon tubers appear to belong to a group that accumulate low molecular weight fructans especially in the lower parts of the tubers (Ohyama et al., 1990). Other carbohydrates stored by yacon are fructose, glucose and sucrose (Graefe et al., 2004).

With respect to the fructose and glucose contents, the values found in the raw material were $50.6\pm 0.1\%$ and $26.9\pm 0.03\%$, respectively, in the dry mass (d.m.). Cabello (2005) reported values of 48.3% and 24.9%, respectively, for fructose and glucose.

Lachman et al. (2004) studied different eco-types of yacon tubers (Bolivia, Ecuador, Germany and New Zealand) and found inulin values varying from 8 to 46%, glucose from

2.04 to 17.9%, fructose from 9.02 to 43.2% and sucrose from 1.95 to 4.98%. This variability in the values reported was explained by Vilhena et al. (2001), who concluded that the amounts of fructans and reducing sugars in the plants varied according to where they were planted and the harvesting time, the greatest amount of fructans being found from 7 to 8 months after planting. Asami et al. (1989) found changes in the fructan contents of yacon roots during growth and subsequent storage, the average degree of polymerization of these fructans increasing linearly with growth, although after harvest, it decreased with a consequent increase in the free fructose, sucrose and glucose contents.

According to Ohyama et al. (1990), yacon roots accumulate fructans with a low degree of polymerization (FOS), as in the case of onion and tulip bulbs. These authors found soluble sugar contents of 820 ± 30 mg/g d.m., and of fructose of 589 ± 38 mg/g d.m., whilst the inulin content detected in the fraction insoluble in 80% ethanol was 13.5 ± 0.4 mg/g d.m.

Manrique et al. (2004) mentioned that at room temperature, harvested yacon roots quickly convert the FOS into simple sugars (glucose, fructose and sucrose), and that 1 week after harvest the FOS content of the roots could be reduced to 30-40% of the initial amount. Vilhena (1997) observed a decrease in the fructan content from 101.3 mg/g in the recently harvested roots to 84.31 mg/g after two days of exposure to the sun, a value that then remained stable. This was due to enzymatic degradation of these compounds that occurred even when the roots were stored at low temperatures. Similar studies with burdock roots showed that the fructan contents decreased after 30 days of storage at 2°C (Ishimaru et al., 2004).

When the yacon was steam blanched at 100°C for 4 minutes, the percent of inulin fell to $4.8 \pm 0.84\%$ d.m. In a comparison of the blanched and non-blanched samples, a significant ($p < 0.05$) fall in the inulin concentration was observed after blanching. This can be explained by the fact that the yacon slices were in direct contact with the steam (steam condensing on

the surface of the slices may have contributed to the dissolution of these components, since after cooling, droplets were observed on the slices) resulting in a decrease in inulin concentration. Pinedo and Murr (2005) mentioned that the use of blanching modified the porosity of the material.

Böhm et al. (2005) mentioned that inulin is practically resistant to the mammalian digestive enzymes, but the 1,2- β -glycosidic are sensitive to heat and acid treatment. According to Halpin and Lee (1987), blanching modifies the physical properties of tissues due to the heat destruction of the cell membrane. Courtin et al. (2009) reported that low levels of decomposition (~1-10% w/w) could be detected when fructooligosaccharide solutions were submitted to pH values of 2.0, 3.0 or 7.0 at 100°C for up to 60 minutes. Nevertheless Nitschke and Umbelino (2002) mentioned that the FOS were stable at pH values above 3 and temperatures of up to 140°C, not being degraded by the majority of thermal processes employed in food industries.

Fructose and glucose showed values of $42.6 \pm 0.54\%$ and $16.3 \pm 0.6\%$ d.m., respectively, and showed a significant reduction after enzyme inactivation. This fall in the percentage of reducing sugars after blanching is in agreement with Mukherjee and Chattopadhyay (2007) who studied various ways of blanching potato cubes and showed that with steam blanching for 3 minutes at 97°C, the reducing sugar contents decreased by about 40%. In the present study, the losses were 15.82% fructose and 39.4% glucose.

Concentrations of Inulin, Glucose and Fructose at the End of the Drying Process

Table 1 shows the values for the inulin, glucose and fructose concentrations in yacon, with and without blanching, after 5 hours of drying. It can be seen there were no differences between the final contents for the three components at the three temperatures studied.

The inulin concentrations decreased significantly in relation to the samples before drying and this decrease could be due to its hydrolysis. This can be verified from the significant increase in the glucose and fructose contents at the end of drying. Graefe et al. (2004) also reported the hydrolysis of inulin into reducing sugars in yacon roots. In a study on the formation of an inulin gel, Kim et al. (2001) showed that the hydrolysis of inulin into reducing sugars occurred during heating and that this conversion increased with increase in temperature from 70 to 100°C. However in the present study, the final reducing sugar concentrations were not significantly different for the temperatures of 50, 60 and 70°C.

The hydrolysis of inulin may be related to the presence of inulinase in the non-blanching material and to residual activity in the blanched samples. As mentioned earlier, neither peroxidase nor polyphenoloxidase were completely inactivated by the use of blanching. Neves and Silva (2007) reported that high concentrations of sugars such as sucrose, maltose, glucose, fructose and trehalose appear to protect the PPO of yacon from heat inactivation at temperatures of 75 and 80°C. Haraguchi et al. (2006), working with the purification of inulinase, showed that this enzyme was stable at 60°C but inactivated at 70°C. Sharma and Gill (2007), reported that inulinase showed 10% of its activity after heat treatment at 80°C for 72 hours, whilst at 70°C the activity was greater than 20%. Ishimaru et al. (2004), working with burdock roots, which contain high inulin contents, evaluated the activity of inulinase at temperatures of 2, 8 and 20°C for 20 days of storage, and observed that the greatest activity of this enzyme was found at 2 °C on the eighth day of storage.

Böhm et al. (2005) studied the drying of inulin obtained from chicory at temperatures of from 100 to 195°C for 60 minutes, and found that its content decreased with increase in temperature and heating time, resulting in significant losses of from 20% to 100% between 135 and 195°C.

CONCLUSIONS

The best condition for steam blanching at 100°C was that using a time of 4 minutes, where it was possible to reduce the PER and PPO activities by 84.6% and 83.7%, respectively, the losses of inulin, glucose and fructose being 30.6, 39.4 and 15.8%.

In the drying of the blanched and non-blanched samples at temperatures of 50, 60 and 70°C for 300 minutes, the inulin concentration decreased, whereas the glucose and fructose concentrations increased, the contents of these components found at the end of the drying process not varying according to the temperature used, for either the blanched or non-blanched samples. The increase in the reducing sugar concentrations could be due to the activity of the enzyme inulinase.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors gratefully acknowledge the financial support of ‘Conselho de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior’ (CAPES).

REFERENCES

- Agüero M.R., Ansorena S.I. and Roura C.E.V. (2008). Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. *Food Science and Technology* **41**: 401–407
- AOAC (1984). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. Washington, DC.
- AOAC (1990). *Official methods of analysis of the association of official analytical chemists*. Washington.

- Asami T., Kubota M., Minamisawa K. and Tsukihashi T. (1989). Chemical composition of yacon, a new root crop from Andean highland. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **60**: 122-6.
- Bezerra V.S., Pereira R.G.F.A., Carvalho V.D. and Vilela E.R. (2002). Raízes de Mandioca Minimamente Processadas: Efeito do Branqueamento na Qualidade e na Conservação. *Ciência e Agrotecnologia* **26**(3): 564-575.
- Böhm A., Kaiser I., Trebstein A. and Henle T. (2005). Heat-induced degradation of inulin. *European Food Research and Technology* **220**: 466–471.
- Cabello C. (2005). Extração e Pré-Tratamento Químico de Frutanos de Yacon, *Polymnia sonchifolia*. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **25**: 202-207.
- Cândido L.M.B. and Campos A.M. (1996). Substitutos de gorduras. *Boletim do CEPPA* **13**(2): 125-164.
- Cazetta M.L., Martins P.M.M., Monti R. and Contiero J. (2005). Yacon (*Polymnia sanchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* var. *bulgaricus*. *Journal of Food Engineering* **66**: 301–305.
- Courtin C.M., Swennen K., Verjans P. and Delcour J.A. (2009). Heat and pH stability of prebiotic arabinoxylooligosaccharides, xylooligosaccharides and fructooligosaccharides. *Food Chemistry* **112**: 831–837.
- Figueira G.M., Park K.J., Brod F.P.R. and Honório S.L. (2004). Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. *Journal of Food Engineering* **63**: 273–280.
- Fukai K., Ohno S., Goto K., Nanjo F. and Hara Y. (1997). Seasonal fluctuations in fructans content and related activities in yacon (*Polymnia sonchifolius*). *Soil Science and Plant Nutrition* **43**: 171–177.
- Gibson G.R., Willis C. and Loo J.V. (1994). Non-digestible oligosaccharides and bifidobacteria: implications for health. *International Sugar Journal* **96**(1150): 381-387.
- Goto K., Fukai K., Hikida J., Nanjo F. and Hara Y. (1995). Isolation and structural analysis of oligosaccharides from Yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry* **59**(12): 2346–2347.
- Graefe S., Hermann M., Manrique I., Golombek S. and Buerkert A. (2004). Effects of post-harvest treatments on the carbohydrate composition of yacon roots in the Peruvian Andes. *Field Crops Research* **86**: 157–165.
- Grau A. and Rea J. (1997). Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson]. Andean roots and tuberous roots: ahupa, arracacha, maca and yacon. In *Promoting the*

- Conservation and Use of Underutilized Crops*; Hermann, M., Heller, J., Eds.; IPK, Gatersleben/IPGRI: Rome **174**: 199-256.
- Halpin B.E. and Lee C.Y. (1987). Effect of blanching on enzyme activity and quality changes in green peas. *Journal of Food Science* **52**(4): 1002-1005.
- Haraguchi K., Yoshida M. and Ohtsubo K. (2006). Inulin fructotransferase (DFA III-producing) from *Leifsonia* sp. T88-4. *Carbohydrate Polymers* **66**: 75–80.
- Hermann M., Freire I. and Pazos C. (1999). Compositional diversity of the yacon storage root. In: Impact on a changing world. Program Report 1997–1998. *Centro Internacional de La Papa (CIP)*, Lima, Peru, pp. 425–432.
- Ishimaru M., Kagoroku K., Chachin K., Imahori Y. and Ueda Y. (2004). Effects of the storage conditions of burdock (*Arctium lappa* L.) root on the quality of heat-processed burdock sticks. *Scientia Horticulturae* **101**: 1–10.
- Kim Y., Faqih M.N. and Wang S.S. (2001). Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers* **46**: 135-145.
- Kramer A. and Smith M. H. (1947). Effect of duration and temperature of blanch on proximate and mineral composition of certain vegetables. *Industrial and Engineering Chemistry* **39**(8): 1007–1009.
- Lachman J., Fernandez, E.C. and Orsák M. (2003). Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. *Plant Soil and Environment* **49**: 283-290.
- Lachman J., Havrland B., Fernández E.C. and Dudjak J. (2004). Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. *Plant Soil and Environment* **50**(9): 383–390.
- Lee F. A. (1958). The blanching process. *Advances in Food Research* **8**: 63–109.
- Manrique I., Hermann M. and Bernet T. (2004). Yacon - Fact Sheet. *International Potato Center (CIP)* Lima, Peru.
- Manrique I., Parraga A. and Hermann M. (2005). Jarabe de Yacón: Principios y Procesamiento. Series: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). 8A. International potato center Universidad Nacional Alcides Carrión. Erbacher Foundation. Swiss Agency for Development and Cooperation: Lima, Peru, pp. 31.
- Mukherjee S. and Chattopadhyay P.K. (2007). Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. *Journal of Food Engineering* **78**: 52–60.

- Neves V. A. and Silva, M. A. (2007). Polyphenol Oxidase from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **55**: 2424-2430.
- Niness K. (1999). Breakfast Foods and the Health Benefits of Inulin and Oligofructose. *Cereal Foods World* **44**(2): 79-81.
- Nitschke M. and Umbelino D.C. (2002). Frutooligossacarídeos: novos ingredientes funcionais. *Boletim SBCTA* **36**(1): 27-34.
- Ohyama T., Ito O., Yasuyoshi S., Ikarashi T., Minamisawa K., Kubota M., Tsukihashi T. and Asami T. (1990). Composition of Storage Carbohydrate in Tubers of Yacon (*Polymnia sonchifolia*). *Soil Science and Plant Nutrition* **36**(1): 167-171.
- Pinedo A.A. and Murr F.E.X. (2005). Influência da Pressão, Temperatura e Pré-Tratamentos na Secagem a Vácuo de Cenoura e Abóbora. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* **25**(4): 636-643.
- Quijano F. G. (2002). Atividades de peroxidase e polifenoloxidação durante o armazenamento pós-colheita da yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. & Endl.). *Acta Horticulturae* **569**: 213-217.
- Quinteros E.T.T. (2000). Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, SP. pp. 164.
- Rea J., (1994). Andean roots. In: Hernandez Bermejo, J.E., Leon, J. (Eds.), *Neglected Crops: 1492 from a Different Perspective*. FAO, Rome, Italy, pp. 163–179.
- Ribeiro J.A. (2008). Estudos Químico e Bioquímico do Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) in natura e processado e influencia do seu consumo sobre níveis glicêmicos e lipídeos fecais de ratos. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. pp. 166.
- Robinson R. K. (1995). The potential of inulin as a functional ingredient. *British Food Journal* **97**: 30–32.
- SAS Institute (1993). *STAT Guide for Personal Computers*. Cary: Statistical Analysis System Institute.
- Seminario J., Valderrama M. and Manrique I. (2003). 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), pp. 60.
- Sharma A.D. and Gill P.K. (2007). Purification and characterization of heat-stable exo-inulinase from *Streptomyces* sp. *Journal of Food Engineering* **79**: 1172–1178.

- Teisson C. (1979). Le brunissement interne de l ananás. I-Historique. II-Material et méthodes. *Fruit* **34**(4): 245-281.
- Toneli J.T.C.L., Mürr F.El.X., Martinelli P., Dal Fabbro I.M. and Park K.J. (2007). Optimization of a physical concentration process for inulin. *Journal of Food Engineering* **80**: 832–838.
- Troiani E.P., Tropiani C.T. and Clemente E. (2003). Peroxidase (POD) and Polyphenoloxidase (PPO) in Grape (*Vitis vinifera* L.) *Ciência e Agrotecnologia* **27**(3):635-642.
- Valentová K. and Ulrichová J. (2003). *Smallanthus sonchifolius* and *Lepidium meyenii*s Prospective Andean crops for the prevention of chronic diseases. *Biomedical Papers* **147**(2): 119-130.
- Van Loo J., Coussement P., Leenheer L., Hoebregs H. and Smits G. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **35**: 525-552.
- Vendrell-Pascuas S., Castellote-Bargalló A.I. and López-Sabater M.C. (2000). Determination of inulin in meat products by high-performance liquid chromatography with refractive index detection. *Journal of Chromatography A* **881**: 591–597.
- Vilhena S. M. C. (1997). Efeito da exposição ao sol e do armazenamento sobre a composição dos carboidratos de reserva em raízes tuberosas do yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl.). Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista. Botucatu. pp. 63.
- Vilhena S.M.C., Câmara F.L.A. and Kakihara S.T. (2000). O cultivo de Yacon no Brasil. *Horticultura Brasileira* **18**(1): 5-8.
- Vilhena S.M.C., Câmara F.L.A. and Lima G.P.P. (2001). Ciclo de cultivo de yacon (*Polymnia sonchifolia* Poep. Endl) em função do conteúdo de frutanos nos órgãos subterrâneos. In: *II Simposio Latinoamericano de Raices y Tubérculos*. Lima (Perú), Universidad Nacional Agraria La Molina, 28-30 de noviembre.
- Yan X., Suzuki M., Ohnishi-Kameyama M., Sada Y., Nakanishi T. and Nagata T. (1999). Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **47**: 4711-4713.
- Zuleta A. and Sambucetti M.E. (2001). Inulin Determination for Food Labeling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **49**: 4570-4572.

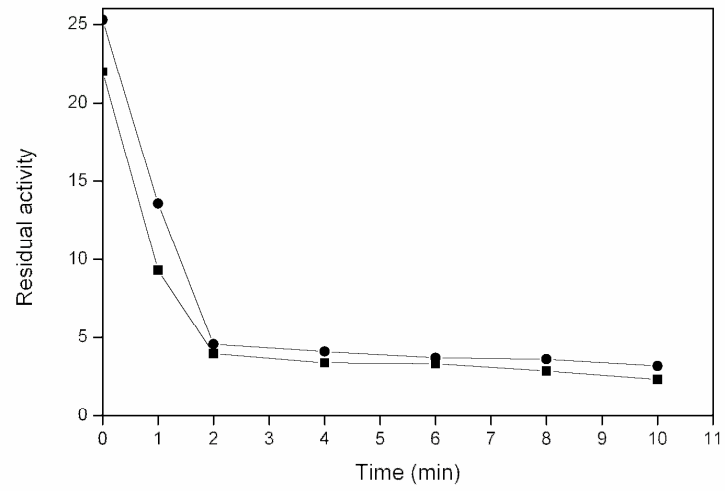


Figure 1. Comparison between the residual PPO and PER activities in yacon pulp after different steam blanching times ($\text{Ug}^{-1} \text{min}^{-1}$). (■) PER and (●) PPO.

Table 1. Sugar concentrations (g/100g d.m.) at the end of drying, with and without blanching.

<i>Temperatures</i>	<i>Inulin (g/100g d.m)</i>		<i>Glucose (g/100g d.m)</i>		<i>Fructose (g/100g d.m)</i>	
	I*	II**	I*	II**	I*	II**
<i>In natura</i>	6.94±0.04 ^a	4.81±0.84 ^a	26.93±0.03 ^a	16.32±0.6 ^a	50.68±0.1 ^a	42.66±0.54 ^a
50°C	5.88±0.23 ^b	4.15±0.09 ^b	30.75±0.04 ^b	18.15±0.33 ^b	58.69±0.67 ^b	44.95±0.20 ^b
60 °C	5.84±0.13 ^b	4.13±0.08 ^b	30.94±0.64 ^b	18.22±0.31 ^b	58.89±0.40 ^b	45.07±0.03 ^b
70 °C	5.81±0.11 ^b	4.06±0.10 ^b	31.04±0.14 ^b	18.36±0.34 ^b	58.96±0.14 ^b	45.30±0.52 ^b

*I without enzyme inactivation.

**II with enzyme inactivation.

CAPÍTULO 4

Solubilização dos açúcares do yacon durante o branqueamento em água quente

Artigo a ser submetido para publicação na revista Brazilian Journal of Food Technology e formatado de acordo com as normas desta revista.

Solubilização dos açúcares do yacon durante o branqueamento em água quente

Caroline Fenner Scher, Alessandro de Oliveira Rios e Caciano Pelayo Zapata Noreña

Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Resumo

Foi estudada a solubilização dos açúcares inulina, glicose e frutose presentes no yacon, durante o branqueamento em água quente em diferentes condições de tempo e temperatura. As amostras após limpas e descascadas, foram cortadas em dois tipos de geometria: rodela com espessuras de $1,75 \pm 0,35\text{mm}$ e cubos de $1,00 \pm 0,01\text{cm}^3$. Empregou-se um experimento fatorial conduzido por um desenho completo aleatório, e as comparações entre os tratamentos nas amostras em forma de rodela e cubos foram realizadas pelo teste de Tukey. Nas amostras em rodela, também foi empregada a metodologia de superfície de resposta para o estudo da solubilização dos açúcares. Os resultados indicaram que no branqueamento do yacon em forma de rodela e cubos, o tempo, a temperatura e a interação entre eles foi significativa na solubilização dos açúcares, exceto para frutose (nas amostras em rodela) e para inulina (nas amostras em cubo), onde somente foi significativo o tempo e a temperatura, respectivamente. Verificou-se uma maior solubilização nas amostras em rodela que em cubos na maioria dos tratamentos estudados. Os resultados obtidos de superfície de resposta permitiram obter modelos estatísticos para estimar a perda de açúcares no branqueamento das amostras em rodela, estimando as condições de maior solubilização.

Palavras chaves: *yacon; solubilização; glicose; frutose; inulina.*

1 Introdução

O Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) é uma planta perene que pertence à família Asteraceae, é originário das montanhas dos Andes e apresenta um nível energético relativamente baixo apesar de seu sabor doce (CAZETTA et al., 2005). Nakanishi (1997) relata que o yacon foi introduzido no Japão em 1985 e no Brasil chegou no início dos anos 90 (MOSCATTO et al., 2004).

As raízes do yacon assim como da alcachofra e do tupinambo ou girassol batateiro, são tuberosas, similares à batata doce em aparência, com um gosto normalmente doce por apresentar abundância de carboidratos solúveis tais como frutose, glicose, sacarose e frutooligossacarídeos ou inulina (GRAU e REA, 1997). Sendo que o principal carboidrato presente no yacon é o açúcar sob a forma de frutooligossacarídeos (FOS) (HERMANN et al., 1998).

Alguns autores recomendam o consumo de yacon a pessoas diabéticas e com problemas digestivos, pois seus açúcares não são metabolizados no intestino delgado (LACHMAN et al., 2003). Os FOS promovem outros benefícios à saúde humana, como a redução do colesterol sérico até o auxílio na prevenção de alguns tipos de câncer (PASSOS e PARK, 2003).

A raiz de yacon se caracteriza por se deteriorar facilmente e pelo rápido escurecimento do suco e de seus tecidos quando se realiza uma má manipulação causada por algum dano mecânico ao produto (NEVES e SILVA, 2007) ou também durante o processamento e/ou armazenamento (LACHMAN et al., 2003). Um dos métodos empregados para a inativação das enzimas responsáveis pelo escurecimento é o emprego do calor. O branqueamento em água quente é simples e econômico, no entanto, os tempos de residência prolongados resultam em perdas consideráveis de nutrientes, como carboidratos, proteínas, minerais, vitaminas e

açúcares solúveis em água (LEE, 1958). Kramer e Smith (1947) relatam que a perda de importantes nutrientes durante o branqueamento é causada principalmente por difusão ou lixiviação.

O objetivo deste trabalho foi estudar a solubilização dos açúcares inulina, glicose e frutose presentes no yacon durante o branqueamento em água quente.

2 Material e métodos

2.1 Material

As raízes do yacon (*Smallanthus sonchifolius*) provenientes do estado de São Paulo foram adquiridas nas Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul (Ceasa) em Porto Alegre. As raízes foram limpas e selecionadas considerando a ausência de injúrias visuais e infecções, bem como a uniformidade de tamanho e de cor, sendo posteriormente armazenadas à temperatura de refrigeração ($8\pm 2^{\circ}\text{C}$) até o momento do uso.

2.2 Procedimento Experimental

O yacon foi descascado e foram realizados dois tipos de corte um em rodela com espessuras de $1,75 \pm 0,35\text{mm}$ e o outro em cubos de $1,00 \pm 0,01\text{cm}^3$. As rodela e os cubos foram submetidos ao branqueamento que consistiu na total imersão das amostras em água a diferentes temperaturas e tempos. Após branqueamento, foi retirado o excesso de água das amostras e rapidamente resfriadas em água gelada ($0-4^{\circ}\text{C}$) durante 3 minutos (AGÜERO, 2008). As amostras foram colocadas em embalagens plásticas e congeladas para posterior análises das concentrações de açúcares em HPLC.

2.3 Preparação das amostras para determinação de açúcares

A preparação das amostras foi feita adaptando-se o método descrito por Toneli et al. (2007), empregado para extração de inulina em raízes de chicória. Dez gramas (10g) de amostra congelada com branqueamento, foram triturados com 50 mL água quente deionizada a 90°C (para melhor extração da inulina) utilizando um multiprocessador de alimentos. O produto foi aquecido em banho-maria a 80°C por 1 hora sob agitação contínua. Após esse tempo, a suspensão foi resfriada a temperatura ambiente e centrifugada em centrífuga marca Hermle Z 323K, durante 15 minutos, a 25°C a 1680g. O sobrenadante foi filtrado primeiro em papel filtro Whatman nº 01 e depois em filtro de membrana de 22µm. Os filtrados foram congelados a -18°C e armazenados. Para as análises, as amostras congeladas foram pré-aquecidas a 80°C e colocadas em banho de ultra-som da marca Thorton por 10 minutos para posterior injeção em HPLC.

2.4 Determinação da concentração de açúcares por HPLC

As análises dos teores de inulina, glicose e frutose no yacon foram realizadas adaptando-se o método descrito por Zuleta e Sambucetti (2001) para determinação direta pelo método de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção de índice refração (HPLC-RI), empregando HPLC da marca Perkin Elmer série 200, com detector de índice de refração, água (Mili-Q) como fase móvel a 0,6 mL/min, temperatura 80°C e coluna da Rezex RHM Monosaccharide da marca Phenomenex, 300 x 7,8 mm. Com um tempo total de corrida de 13 minutos. Para inulina o tempo de retenção foi de 6,85 minutos, para glicose de 9,73 minutos e frutose de 10,374 minutos. Todas as determinações foram feitas em duplicata.

2.5 Avaliação Estatística

O planejamento estatístico para o estudo da solubilização dos açúcares (inulina, glicose e frutose) se mostra na Tabela 1. Foi empregado um experimento fatorial conduzido

por um desenho completo aleatório, e as comparações entre os tratamentos nas amostras em forma de rodela e de cubos foram realizadas pela prova de comparação de médias de Tukey.

Nas amostras em rodela, também foi empregada a metodologia de superfície de resposta para o estudo da solubilização dos açúcares, onde as variáveis independentes (sem codificar) foram: temperatura (T) e tempo (t) e as variáveis dependentes (Y) foram às concentrações de inulina, glicose e frutose (respostas). Foi empregado um total de 11 tratamentos (Tabela 1).

O modelo matemático que representa essas respostas foi à equação de um polinômio de segunda ordem, da forma:

$$Y = b_0 + b_1T + b_2t + b_{11}T^2 + b_{22}t^2 + b_{12}Tt$$

Os testes estatísticos foram feitos através do programa SAS 6.2 (SAS Institute, 1993).

Tabela 1. Planejamento experimental para análise de superfície de resposta.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo (min)
1	50	15
2	50	5
3	70	15
4	70	5
5	60	17
6	60	3
7	74	10
8	46	10
9	60	10
10	90	1
11	90	2

3 Resultados e discussão

3.1 Solubilização dos açúcares inulina, glicose e frutose cortadas em rodela e cubos

A porcentagem inicial de inulina no yacon foi de $9,2\pm 0,44\%$ em b.s., sendo que este valor está de acordo com Cazetta et al. (2005) e Gibson et al. (1994) que encontraram valores entre 3-10% e 3-19% de inulina nas raízes de yacon respectivamente. Quanto aos teores de frutose e glicose, os valores encontrados foram de $50,2\pm 0,73\%$ e $22,8\pm 0,82\%$ em b.s. Cabello (2005) reportou valores de 48,3% e 24,9% para a frutose e glicose respectivamente.

Para as amostras em rodela a ANOVA (Tabela 2) indicou que para inulina e glicose foram significativos os efeitos da temperatura, do tempo e a interação entre eles. No entanto para frutose foram somente significativos os efeitos principais (temperatura e tempo).

Para as amostras branqueadas na forma de cubos a ANOVA (Tabela 2) indicou que para a inulina somente foram significativos os efeitos principais e, para a glicose e frutose foram significativos à temperatura, o tempo e a interação entre eles.

Tabela 2. Análises de variância para a solubilização de açúcares no branqueamento de yacon.

Fontes de Variação	Grau de Liberdade	Soma de Quadrados					
		Rodelas			Cubos		
		Inulina	Glicose	Frutose	Inulina	Glicose	Frutose
T	5	1,843*	75,911*	441,767*	1,129*	111,142*	75,911*
t	4	4,707*	167,341*	867,495*	5,707*	89,971*	167,341*
Txt	1	0,475*	0,588*	1,155	0,001	0,891*	0,588*
Erro	15	0,104	1,487	6,017	0,197	2,704	1,487
Total	25	7,130	245,327	1316,434	7,034	204,708	245,328

* Significativo ao nível de 5%;

Quando comparados às concentrações finais de açúcares entre as duas formas geométricas do material, verificou-se que para inulina somente não existem diferenças significativas ($p>0,05$) nas condições de 60°C x 3 minutos, 74°C x 10 minutos e a 90°C por 1 e 2 minutos. Nas outras condições se verificou a maior solubilização da inulina nas amostras em rodela em relação às amostras em cubos.

Para a glicose não foi encontrada diferença significativa somente a 90°C x 1 minuto. Em relação à frutose, os resultados indicaram que a 70°C x 5 minutos e 46°C x 10 minutos não houve diferença significativa. Nas demais condições houve maior solubilização nas amostras em rodela.

Isso se deve ao fato que, por ser uma espessura menor o tempo de difusão da água para dentro do material é menor, possibilitando uma maior solubilização dos açúcares da matriz, resultando em uma maior perda destes e, também à perda mais rápida da firmeza no tecido vegetal contribui na saída dos solutos (ANDERSON et al., 1994).

Mukherjee e Chattopadhyay (2007), mencionam que durante o branqueamento de batatas em forma de cubos em água quente a 93 e 100°C durante 3 minutos, a perda de açúcares redutores foi de 51 e 54% respectivamente. Pedreschi et al. (2009), realizaram o branqueamento em batatas cortadas em rodela de 2,5mm de espessura, nas temperaturas de 60, 75 e 90°C e obtiveram perdas de açúcares redutores de 61,7, 80 e 84% respectivamente durante 120 minutos. Em nosso trabalho durante 2 minutos a 90°C para as amostras em cubos as perdas foram de 55 e 54% e em rodela de 65 e 62,7% para glicose e frutose respectivamente.

3.2 Solubilização dos açúcares para as amostras cortadas em rodela

Para a inulina, a equação da superfície de resposta obtida foi:

$$Y = 5.04683 - 0.03720T - 0.40373t + 0.00181tT + 0.00936t^2$$

$$(r^2 = 0,9217)$$

Onde pode ser verificado que a temperatura, o tempo, a interação tempo e temperatura influenciam diretamente durante a solubilização, assim como tempo ao quadrado.

Na Figura 1, mostra-se o gráfico de linhas de contorno, onde se observa que quanto maior o tempo de imersão e a temperatura empregada, maior foi à solubilização da inulina,

que corresponde ao efeito em conjunto entre o tempo e a temperatura. Mediante a aplicação da análise canônica se encontraram os pontos estacionários das respostas analisadas, que corresponderam à maior solubilização, esses valores foram às condições de 68,3°C e 14,4 minutos para uma concentração final de 0,44% (b.s.) de inulina na amostra, que significou 95,2% de solubilização para o meio.

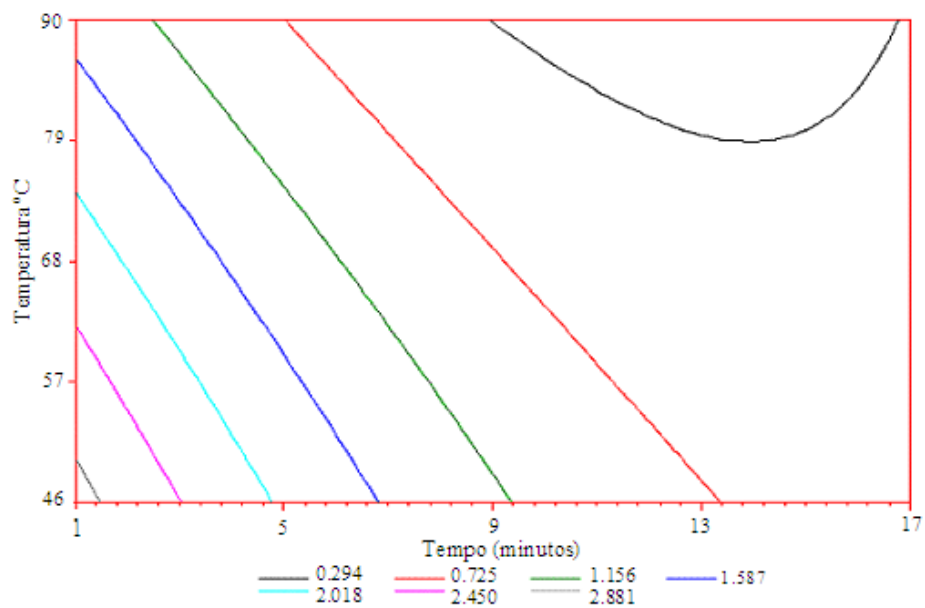


Figura 1 . Solubilização da inulina em amostras de yacon cortadas em rodelas.

Vendrell-Pascuas et al. (2000), mencionam que a inulina pura é praticamente insolúvel em água fria, mas facilmente solúvel em água quente. Kim et al. (2001) num estudo sobre a formação do gel de inulina, verificaram que a 25°C a inulina foi quase insolúvel, e a 50°C a solubilização foi somente de 1,2%, mas com o aumento da temperatura a sua solubilidade aumentava significativamente e atingia 34% a 90°C.

As altas temperaturas além de contribuir com o aumento da solubilidade dos açúcares, lesionam o sistema celular, fazendo com que o açúcar intracelular se difunda rapidamente para o meio. Segundo Halpin e Lee (1987), o branqueamento modifica as propriedades físicas dos tecidos, devido à destruição da membrana celular pelo calor.

No caso da glicose, a equação de superfície de resposta obtida foi:

$$Y = 20.35055 - 0.10780T - 1.22437t + 0.03013t^2$$

$$(r^2 = 0,934)$$

Onde se observa que a temperatura, o tempo e o tempo ao quadrado têm influência direta sobre a solubilização da glicose durante o branqueamento.

Na Figura 2, mostra-se o gráfico de linhas de contorno onde se verifica o efeito do aumento da temperatura e do tempo sobre a perda de glicose para o meio.

O resultado da análise canônica indicou que as condições onde resultou a maior solubilização da glicose foi 62,6°C e 18,8 minutos, com uma concentração final de 1,48% (b.s.) na amostra, o que correspondeu a 93,5% de glicose solubilizada para o meio.

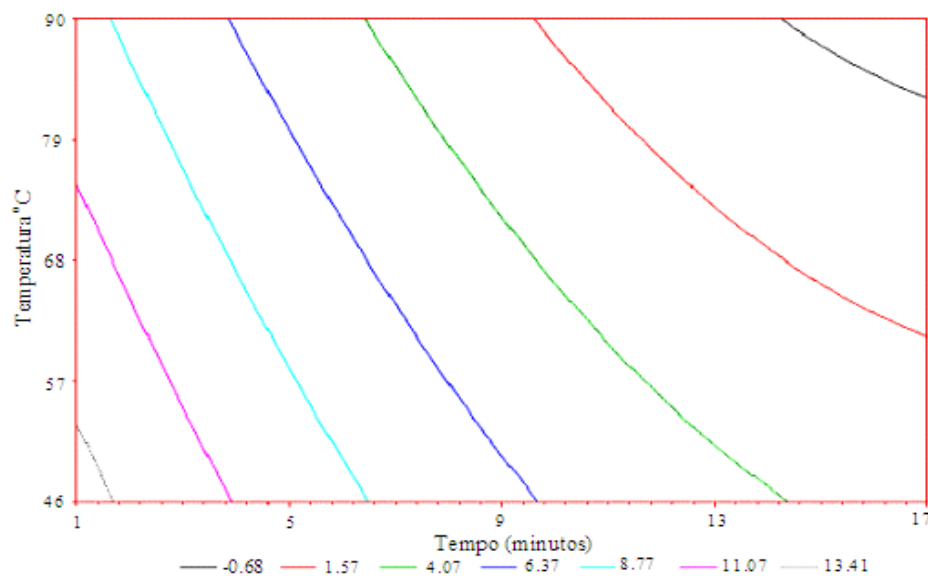


Figura 2 . Solubilização da glicose em amostras de yacon cortadas em rodela.

Para a frutose a equação de superfície de resposta foi:

$$Y = 63.85406 - 0.83417T - 2.75118t + 0.00435T^2 + 0.06989t^2$$

$$(r^2 = 0,941)$$

Verificou-se pela equação que os efeitos lineares e quadráticos da temperatura e do tempo influenciaram significativamente na solubilização da frutose.

As linhas de contorno, mostrados na Figura 3, também mostram que quanto maior o tempo e a temperatura utilizada para o branqueamento, maior foi a solubilização da frutose para o meio.

O resultado da análise canônica indicou que a maior solubilização ocorreu quando as condições de branqueamento foram de 17,5 minutos a 69,2°C, que corresponde à concentração final de frutose na amostra de 1,97% (b.s), resultando em 96% de solubilização.

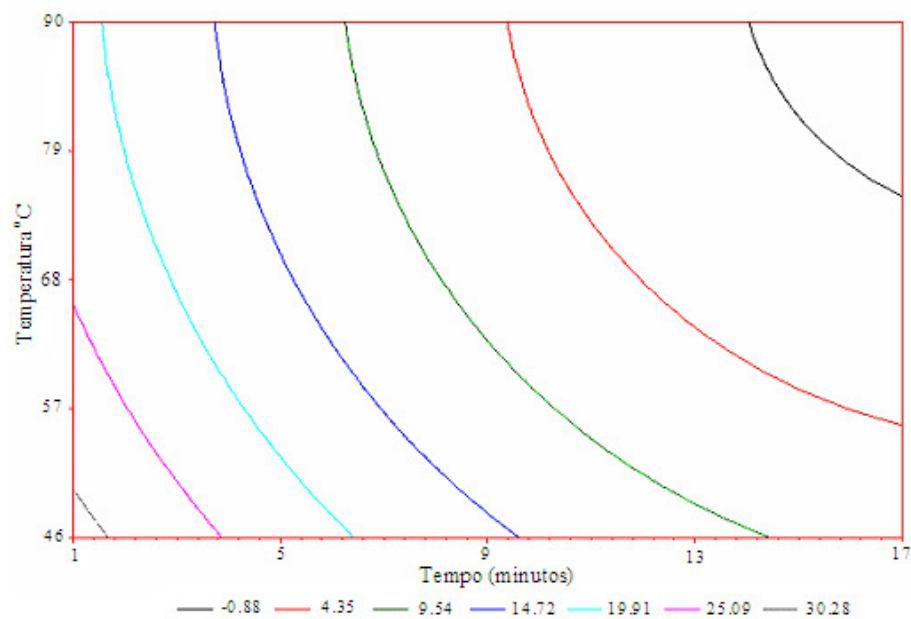


Figura 3 . Solubilização da frutose em amostras de yacon cortadas em rodela.

4 Conclusões

No branqueamento do yacon em forma de rodela e cubos, o tempo, a temperatura e a interação entre eles foi significativa na solubilização dos açúcares, exceto na frutose, nas amostras em rodela, e na inulina, nas amostras em cubos onde somente foi significativo o tempo e a temperatura. Verificou-se uma maior solubilização nas amostras em rodela que em cubos na maioria dos tratamentos estudados.

Os resultados obtidos da superfície de resposta permitiram obter modelos estatísticos para estimar a perda de açúcares no branqueamento das amostras em rodela, estimando-se as condições de maior solubilização.

Agradecimentos

A Capes pelo auxílio financeiro.

Referências

- AGÜERO, M.R.; ANSORENA, S.I.; ROURA C.E.V. Thermal inactivation of peroxidase during blanching of butternut squash. **Food Science and Technology**, v.41, p. 401–407, 2008.
- ANDERSON, A.; GEKAS, V.; LIND, I.; OLIVEIRA, F.; OSTER. Effect of preheating on potato texture. **Critical Reviews in Food Science & Nutrition**, v. 34(3), p. 229–251, 1994.
- CABELLO, C. Extração e Pré-Tratamento Químico de Frutanos de Yacon, *Polymnia sonchifolia*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 202-207, 2005.
- CAZETTA, M.L.; MARTINS, P.M.M.; MONTI, R.; CONTIERO, J. Yacon (*Polymnia sanchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* var. *bulgaricus*. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 301–305, 2005.
- GIBSON, G.R.; WILLIS, C.; LOO, J.V. Non-digestible oligosaccharides and bifidobacteria: implications for health. **International Sugar Journal**, v. 96(1150), p. 381-387, 1994.
- GRAU, A.; REA, J. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson]. Andean roots and tuberous roots: ahupa, arracacha, maca and yacon. In *Promoting the Conservation and Use of Underutilized Crops*; Hermann, M., Heller, J., Eds.; IPK, Gatersleben/IPGRI: Rome, v. 174, p. 199-256, 1997.
- HALPIN, B.E.; LEE, C.Y. Effect of blanching on enzyme activity and quality changes in green peas. **Journal of Food Science**, v. 52(4), p. 1002-1005, 1987.
- HERMANN, M.; FREIRE, I.; PAZOS, C. Compositional diversity of the yacon storage root. In: *Impact on a changing world. Program Report 1997–1998*. **Centro Internacional de La Papa** (CIP), Lima, Peru, p. 425–432, 1999.

- KRAMER, A.; SMITH, M. H. Effect of duration and temperature of blanch on proximate and mineral composition of certain vegetables. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 39(8), p. 1007–1009, 1947.
- LACHMAN, J.; FERNANDEZ, E. C.; ORSAK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. **Plant Soil Environ**, v. 49, p. 283-290, 2003.
- LEE, F. A. The blanching process. **Advances in Food Research**, v.8, p. 63–109, 1958.
- MOSCATTO, J.A.; PRUDÊNCIO-FERREIRA, S.H.; HAULY, M.C.O. Farinha de yacon e inulina como ingredientes na formulação de bolo de chocolate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24(4), p. 634-640, 2004.
- MUKHERJEE, S.; CHATTOPADHYAY P.K. Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 52–60, 2007.
- NAKANISHI, T. Cultivation of yacon. **Nogyo oyobi Engei**, v.72, p. 44-50, 1997.
- NEVES, V. A.; SILVA, M. A. Polyphenol Oxidase from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 2424-2430, 2007.
- PASSOS, L.M.L.; PARK, Y.K. Frutooligossacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, v. 33, p. 385-390, 2003.
- PEDRESCHI, F.; TRAVISANY, X.; REYES, C.; TRONCOSO, E.; PEDRESCHI R. Kinetics of extraction of reducing sugar during blanching of potato slices. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 443–447, 2009.
- SAS INSTITUTE, (1993). *STAT* Guide for Personal Computers. Cary: Statistical Analysis System Institute.
- TONELI, J.T.C.L.; MÜRR, F.EL.X.; MARTINELLI, P.; DAL FABBRO, I.M.; PARK, K.J. Optimization of a physical concentration process for inulin. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 832–838, 2007.
- VENDRELL-PASCUAS S., CASTELLOTE-BARGALLÓ A.I., LÓPEZ-SABATER M.C. Determination of inulin in meat products by high-performance liquid chromatography with refractive index detection. **Journal of Chromatography A**, v. 881, p. 591–597, 2000.
- ZULETA A. & SAMBUCETTI M.E. Inulin Determination for Food Labeling. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 4570-4572, 2001.
- KIM Y., FAQIH M.N., WANG, S.S. Factors affecting gel formation of inulin. **Carbohydrate Polymers**, v. 46, p. 135-145, 2001.

DISCUSSÃO GERAL

Para a execução e cumprimento dos objetivos gerais e específicos deste trabalho de dissertação, foram apresentados os resultados obtidos na forma de três artigos científicos.

Inicialmente foi estudada a composição físico-química do yacon, onde sua umidade foi de $88,69 \pm 0,10\%$, atividade de água de $0,994 \pm 0,12$, acidez de $1,62 \pm 0,10 \text{ ml/100g}$ de amostra, sólidos solúveis de $9,9 \pm 0,01^\circ \text{Brix}$ e pH $6,09 \pm 0,01$ na matéria fresca. Observou-se que o yacon depois de cortado, escurece rapidamente devido à presença das enzimas PPO e PER. No entanto, foi estudado o branqueamento em água quente para inativar as enzimas que causam esse escurecimento. As amostras foram cortadas em dois tipos de geometria: rodela ($1,75 \pm 0,35 \text{ mm}$) e cubos ($1,00 \pm 0,01 \text{ cm}^3$), verificando que ocorreu a solubilização dos açúcares para o meio, sendo maior nas amostras em forma de rodela na maioria dos tratamentos estudados.

Na solubilização dos açúcares nas amostras em forma de rodela e cubos, o tempo, a temperatura e a interação entre eles foram significativas, exceto na frutose (nas amostras em rodela) e na inulina (nas amostras em cubos) onde somente foram significativos o tempo e a temperatura.

Os resultados obtidos da superfície de resposta permitiram obter os seguintes modelos estatísticos para estimar a perda dos açúcares no branqueamento das amostras em rodela:

Para a inulina foi:

$$Y = 5.04683 - 0.03720T - 0.40373t + 0.00181tT + 0.00936t^2$$

$$(r^2 = 0,9217)$$

No caso da glicose foi:

$$Y = 20.35055 - 0.10780T - 1.22437t + 0.03013t^2$$

$$(r^2 = 0,934)$$

E para a frutose foi:

$$Y = 63.85406 - 0.83417T - 2.75118t + 0.00435T^2 + 0.06989t^2$$

$$(r^2 = 0,941)$$

As maiores solubilizações obtidas mediante o estudo das análises canônico, corresponderam a 95,2%, 93,5 e 96% para inulina, glicose e frutose respectivamente.

Após verificar que houve uma grande solubilização dos açúcares em água, optou-se por realizar o branqueamento a vapor em autoclave a 100°C em diferentes tempos no yacon em rodela, sendo que há 4 minutos foi possível reduzir à atividade enzimática da PER e PPO

em 84,6% e 83,7%, onde as perdas de inulina, glicose e frutose foram de 30,6; 39,4 e 15,8% respectivamente, sendo essas perdas menores do que quando utilizada água para o branqueamento.

A seguir foi realizado o processo de desidratação às temperaturas de 50, 60 e 70°C durante cinco horas e trinta minutos nas amostras de yacon em rodelas, sem e com branqueamento a vapor. Os resultados indicaram que as perdas de umidade e da atividade de água foram maiores à medida que se aumentou a temperatura nas amostras com branqueamento. Os valores de atividade de água no equilíbrio, atingidos pelo yacon sem e com branqueamento foram menores que 0,389.

Na quinta hora de secagem, para todas as temperaturas estudadas, nas amostras com e sem branqueamento, a concentração de inulina diminuiu, enquanto que as de glicose e frutose aumentaram, sendo que os teores desses componentes não diferiram com a temperatura tanto nas amostras que sofreram ou não branqueamento.

No yacon desidratado sem branqueamento, foi observado que a 70°C houve conversão de FOS em açúcares redutores. Esse aumento na concentração dos açúcares redutores pode ser devido à presença de atividade enzimática da inulinase.

REFERÊNCIAS

- BOSSCHER, D.; LOO, J.; FRANCK, A. Inulin and oligofructose as functional ingredients to improve bone mineralization. **International Dairy Journal**, v. 16, p. 1092–1097, 2006.
- CABELLO, C. Extração e Pré-Tratamento Químico de Frutanos de Yacon, *Polymnia sonchifolia*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 202-207, 2005.
- CAPITO, A.N.C. **Construção de um projeto de viabilidade econômica e financeira da “Jícama ou Yacón” *Polymnia sonchifolia* P&E. (Asteraceae) sob a ótica da gestão econômica.** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CUSTOS – CUSTOS E ESTRÁTEGIA EMPRESARIAL, Braga, 1999. Colectânea de resumos. Braga: Universidade do Minho, 1999. p. 78.
- CAPITO, S.M.P. **Raiz Tuberosa de Yacón (*Polymnia sonchifolia*): Caracterização Química e Métodos de Determinação de Frutanos (CG e CLAE-DPA).** São Paulo: FCF, 2001. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Ciência dos Alimentos - Área de Bromatologia - Universidade de São Paulo, 2001.
- CAZETTA, M.L.; MARTINS, P.M.M.; MONTI, R.; CONTIERO, J. Yacon (*Polymnia sanchifolia*) extract as a substrate to produce inulinase by *Kluyveromyces marxianus* var. *bulgaricus*. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 301–305, 2005.
- CRUZ, R. M. S.; VIEIRA, M. C.; SILVA, C. L. M. Effect of heat and thermosonication treatments on peroxidase inactivation kinetics in watercress (*Nasturtium officinale*). **Journal of food engineerin**, v. 72(1), p. 8-15, 2006.
- FENNEMA, O.R. **Química de los Alimentos.** Editorial Acribia S.A. Zaragoza (Espanha), 1993.
- FIGUEIRA, G.M.; PARK, K.J.; BROD, F.P.R.; HONÓRIO, S.L. Evaluation of desorption isotherms, drying rates and inulin concentration of chicory roots (*Cichorium intybus* L.) with and without enzymatic inactivation. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 273–280, 2004.
- GEANKOPLIS C.J. **Procesos de transporte y Operaciones Unitarias**, México, Cia Editorial Continental. 1986.
- GIBSON, G.R.; WILLIS, C.; LOO, J.V. Non-digestible oligosaccharides and bifidobacteria: implications for health. **International Sugar Journal**, v.96(1150), p.381-387, 1994.
- GIBSON, G.R.; ROBERFROID, M.B. Dietary Modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. **Journal of Nutrition**, v. 125(6), p. 1402-1412, 1995.

- GOTO, K.; FUKAI, K.; HIKIDA, J.; NANJO, F.; HARA, Y. Isolation and structural analysis of oligosaccharides from Yacon (*Polymnia sonchifolia*). **Japan Society for Bioscience, Biotechnology, and Agrochemistry**, v. 59(12), p. 2346–2347, 1995.
- 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, p. 157–165, 2004.
- GRAU, A.; REA, J. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson]. Andean roots and tuberous roots: ahipa, arracacha, maca and yacon. In *Promoting the Conservation and Use of Underutilized Crops*; Hermann, M., Heller, J., Eds.; IPK, Gatersleben/IPGRI: Rome, v. 174, p. 199-256, 1997.
- HATAMIPOUR, M.S.; KAZEMI, H.H.; NOORALIVAND, A.; NOZARPOOR, A. Drying Characteristics of Six Varieties of Sweet Potatoes in Different Dryers. **Food and Bioproducts Processing**, 85(C3), p. 171–177, 2007.
- HERMANN, M.; FREIRE, I.; PAZOS, C. Compositional Diversity of the Yacon Storage Root. **Centro Internacional de La Papa (CIP) – Program Report**, p. 425-432, 1998.
- INOUE, A.; TAMOGAMI, S.; KATO, H.; NAKAZATO, Y.; AKIYAMA, M.; KODAMA, O.; AKATSUKA, T.; HASHIDOKO, Y. Antifungal melampolides from leaf extracts of *Smallanthus sonchifolius*. **Phytochemistry**, v. 39 p. 845-848, 1995.
- LACHMAN, J.; FERNANDEZ, E. C.; ORSAK, M. Yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - A review. **Plant Soil Environ**, v.49, p. 283-290, 2003.
- LACHMAN, J.; HAVRLAND, B.; FERNÁNDEZ, E.C.; DUDJAK, J. Saccharides of yacon [*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. et Endl.) H. Robinson] tubers and rhizomes and factors affecting their content. **Plant Soil Environ**, v. 50(9), p. 383–390, 2004.
- LERTWORASIRIKUL, S.; TIPSUWAN, Y. Moisture content and water activity prediction of semi-finished cassava crackers from drying process with artificial neural network. **Journal of Food Engineering**, v. 84, p. 65–74, 2008.
- LUPETTI, K.O.; CARVALHO, L.C.; MOURA, A.F.; FATIBELLO-FILHO, O. Análise de imagem em química analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. **Química Nova**, v. 28(3), p. 548-554, 2005.
- MANRIQUE, I.; HERMANN, M. El Potencial Del Yacon en la Salud y la Nutricion. XI **Congreso Internacional de Cultivos Andinos**. Cochabamba, Bolivia, 15-19 Outubro, 2003.

- MANRIQUE, I.; HERMANN, M.; BERNET, T. Yacon - Fact Sheet. **International Potato Center** (CIP), Lima, Peru, December 2004.
- NEVES, V. A.; SILVA, M. A. Polyphenol Oxidase from Yacon Roots (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 2424-2430, 2007.
- OCHOA, M.R.; KESSELER, A. G.; PIRONE, B. N.; MARQUEZ, C. A.; MICHELIS, A. Shrinkage during convective drying of whole rose hip (*Rosa Rubiginosa* L.) fruits. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v. 35, p. 400–406, 2002.
- ORDÓÑEZ, J.A. **Tecnología de Alimentos**. Porto Alegre: Editora ARTMED, 2005.
- PASSOS, L.M.L.; PARK, Y.K. Frutooligossacarídeos: implicações na saúde humana e utilização em alimentos. **Ciência Rural**, v. 33, p. 385-390, 2003.
- QUINTEROS, E.T.T. **Produção com tratamento enzimático e avaliação do suco de yacon**. Campinas: FEA, 2000. Tese (Doutorado em tecnologia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 2000.
- RATTI, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 49 p. 311-319, 2001.
- ROBERFLOID, M.B. Concepts in functional foods: The case of inulin and oligofructose. **Journal of Nutrition**, v. 129(75), p. 1398-1401, 1999.
- SEMINÁRIO, J.; VALDERRAMA, M.; MANRIQUE I. El yacon: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. **Centro Internacional de la Papa** (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Peru, 60p. 2003.
- VAN LOO, J.; COUSSEMENT, P.; LEENHEER, L.; HOEBREGS, H.; SMITS, G. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, p. 525-552, 1995.
- YAN, X.; SUZUKI, M.; OHNISHI-KAMEYAMA, M.; SADA, Y.; NAKANISHI, T.; NAGATA, T. Extraction and identification of antioxidants in the roots of yacon (*Smallanthus sonchifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, p. 4711-4713, 1999.
- ZARDINI, E. Ethnobotanical notes of ‘Yacon’ *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae). **Economic Botany**, v. 45(1), p. 72–85, 1991.